

# ELEKTROGLOTTOGRAFIE

## Een experimenteel onderzoek betreffende de elektrische impedantie van het mannelijk strottehoofd

An experimental study of the electrical impedance of the male  
human larynx

(with a summary in English)

(avec un résumé en français)

(mit einer Zusammenfassung in der deutschen Sprache)

### PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DE GRAAD VAN DOCTOR IN DE  
GENEESKUNDE

AAN DE ERASMUS UNIVERSITEIT TE ROTTERDAM

OP GEZAG VAN DE RECTOR MAGNIFICUS

PROF. DR. B. LEIJNSE

EN VOLGENS BESLUIT VAN HET COLLEGE VAN DEKANEN.

DE OPENBARE VERDEDIGING ZAL PLAATSVINDEN OP

VRIJDAG 2 DECEMBER 1977 DES NAMIDDAGS

TE 3.00 UUR PRECIES

DOOR

FRANÇOIS LUCIEN ÉMILE LECLUSE

GEBOREN IN 1939 TE AMSTERDAM

DRUKKERIJ ELINKWIJK B.V.-UTRECHT

PROMOTOR: PROF. DR. W.H. STRUBEN  
CO-REFERENTEN: DR. P.H. DAMSTÉ  
PROF. DR. E.H. HUIZING

aan Fritsje, Michel en Véronique

*'Faced today with his armamentarium of polygraphs, oscilloscopes, amplifiers, computers, physiological transducers, waveform generators, and other wonderful 'black boxes' and magnificent libraries, the budding scientist may wonder how his forebears were able to discover anything of scientific value'.*

*(Malcolm Hast, 1975)*

## EEN WOORD VOORAF

De jarenlange steun van collega's en vrienden is bij de totstandkoming van dit proefschrift waarschijnlijk van even groot belang geweest als de eigen inbreng. Aan hen is het citaat opgedragen. De promotor, Prof. Dr. W.H. Struben, ben ik zeer erkentelijk voor de tijd, die hij zowel vóór als na zijn emeritaat aan dit werk heeft gegeven, zeker toen bleek dat zijn tijd kostbaar bleef. De ruimtelijke gemakken op de door U opgezette afdeling in de hoogbouw zijn nog steeds ideaal, mede door de integratie met de afdeling biologie en medische natuurkunde van Prof. Dr. G. van den Brink. Zo waren er veel problemen op hetzelfde niveau op te lossen. De stimulerende aandacht van de hooggeleerde van den Brink was mij zeer veel waard. Prof. Dr. E.H. Huizing, U kwam helaas pas in het onderzoek nadat de meetings waren afgesloten. Toch waren Uw redactionele kanttekeningen en Uw overige aandacht bij de afwerking van het proefschrift mij van groot voordeel. Zeergeleerde Damsté, beste Helbert, ik heb veel mogen leren van je enorme achtergrondinformatie en kritische belezenheid. Het inpassen van dit onderzoek in een groter kader was een belangrijke bijdrage. Het zal van de toekomst van de foniatrie in Nederland afhangen of de gegevens een verdere praktische toepassing zullen krijgen. Prof. Dr. G.A. Sedee, vooral U heeft mij de tijd gegeven om dit onderwerp dat elders gestart was, af te werken. Uw enthousiaste en kritische geest hebben mij door heel wat dieptepunten heen geholpen. Zonder Uw 'frappez toujours' was dit werk er waarschijnlijk niet gekomen. Prof. Dr. G. de Wit, hopelijk kan ik op Uw afdeling, die U inmiddels verlaten heeft, het praktische werk onder supervisie van Prof. Dr. G. Snow voortzetten. Zeergeleerde Wind, beste Jan, als wetenschapsbeoefenaar op allerlei larynxen was je altijd bereid om ook letters te ziften. Ik verheug mij op een langdurige en vruchtbare samenwerking. Zeergeleerde Waar, beste Coen, als geestelijke vader van dit project, waaraan we zo lichtvaardig begonnen zijn, heb je steeds over je geesteskind gewaakt. Ik ben niet uitgekomen op het punt, waar ik dacht de oplossing te vinden. In niet geringe mate dragen daar je contacten over 's lands grenzen toe bij, die in de betrekkelijk kleine wereld van de foniatrie zo belangrijk zijn. De steun van Simone Hermer en Agnes den Boer-van Hamburg, je beide rechterhanden, maar ook die van de overige leden van je groep in Dijkzigt was vanaf het begin onontbeerlijk. Hierbij dien ik ook Ronald Maas te bedanken.

De goede vrienden en medewerkers van het AZU wil ik graag bedanken wegens hun aanmoediging, met name Letta Senne-van Capelleveen en Greet Hendriks, die hun steun vaak op het juiste moment gaven. Daarbij ook hartelijk dank voor de nuttige opmerkingen van Dr. Clemens en Dr. Gallé. Het vervaardigen van de vele figuren kon alleen geschieden dank zij Hanneke de Waal en haar collega's van het OMI te Utrecht, de AVD te Rotterdam en Fred van den Brink te Utrecht. Mijn echtgenote Fritsje heeft behalve aan de binnenzijde ook aan de buitenzijde van het boekje getekend en nog veel meer gedaan. Het verslag van mijn werk, zoals het hier voor U ligt, werd met veel persoonlijke inzet getikt door Mevrouw Ligterink-Ocke. Mijn erkentelijkheid is ook bedoeld voor de vertalers van de samenvatting, Dr. D.J. Griffiths, mijn oom Miel en mijn zwager Wil. Hoe zou dit onderzoek zijn gelopen zonder het economisch inzicht en de vindingrijkheid van de heer Korthals? De Jan Dekkerstichting en de Dr. Ludgardine Bouwmanstichting dank ik voor de financiële tegemoetkoming in de kosten van dit proefschrift. De proefpersonen, genoemd in dit proefschrift met inbegrip van enkele leden van het Rotterdams Conservatorium en André Smits, dank ik voor hun stemgeluid in de galmarme ruimte, alwaar het foneren niet eenvoudig was. C. Goedegebuur zorgde voor het instrumentmakerswerk. Van onschatbare waarde voor dit onderzoek waren Hans Verschuure en Michel Brocaar. Zij groeven met mij het diepste in de elektroglottografie. Door de wisselwerking tussen hun fysische en mijn medische manier van denken verschoof het onderzoek meer naar het experimentele dan naar het klinische vak. Ik heb goede hoop dat wij elkaar ondanks de schier eindeloze discussies toch hebben gevonden. Mijn dank is vooral aan hen. Weledelzeergeleerde van Maastricht, beste Ron, ik ben je zeer erkentelijk voor je rekopstelling en overige medewerking.

## INHOUD

### Een woord vooraf

Hoofdstuk 1	ALGEMENE BESCHOUWINGEN, ANATOMIE EN FYSIOLOGIE	1
1.1	Inleiding	1
1.2	Anatomie	3
1.2.1	Inleiding	3
1.2.2	De spiertjes van de larynx	4
1.3	Fysiologie	11
1.3.1	Inleiding	11
1.3.2	Theorieën over het ontstaan van de stembandtrillingen	14
1.3.3	Koppeling	22
1.3.4	Registers	23
1.4	De elektroglottografie	26
1.4.1	Principe	26
1.4.2	Historisch overzicht	28
1.5	Vraagstelling	32
Hoofdstuk 2	DE OPSTELLING EN DE CONTROLEPROEVEN VAN HET LARYNXPREPARAAT	34
2.1	De opstelling van het larynxpreparaat	34
2.1.1	Inleiding	34
2.1.2	Het larynxpreparaat	35
2.1.3	De preparatietechniek	35
2.1.4	De pincetconstructie	37
2.1.5	Overige aspecten bij de opstelling van het larynxpreparaat	40
2.2	Controleproeven op de meetmethode	42
2.2.1	Inleiding	42
2.2.2	Proeven ter controle van de opstelling met het preparaat	43
2.2.3	Discussie	50
2.2.4	De invloed van de valse stembanden op het elektroglottogram	52
2.2.5	De invloed van uitdroging op het elektroglottogram	53
Hoofdstuk 3	VERGELIJKEND ONDERZOEK AAN ELEKTROGLOTTOGRAFEN	54
3.1	Onderzoek aan verschillende elektroglottografen	54
3.1.1	Inleiding	54
3.1.2	Experimenten met verschillende elektroglottografen	55

3.1.3	Resultaten	56
3.1.4	Discussie	58
3.2	Filters	59
3.2.1	Inleiding	59
3.2.2	Resultaten	60
3.2.3	Discussie	62
Hoofdstuk 4	PROEFNEMINGEN MET HET LARYNXPREPARAAT	63
4.1	Inleiding	63
4.2	De stroboscopie	63
4.3	De stroboscopische beoordeling van de stembanden	65
4.4	Het fotograferen van de stembanden met behulp van stroboscopie	67
4.5	Gecombineerd elektroglottografisch en stroboscopisch onderzoek	69
4.5.1	De faserelatie tussen het elektroglottogram en de stembandbeweging	69
4.6	Het berekenen van de trajecten	77
4.6.1	Definiëring van de quotiënten	77
4.6.2	Resultaten	81
4.6.3	Discussie	86
4.7	Statische rekproeven	87
4.7.1	Inleiding	87
4.7.2	Methode	88
4.7.3	Resultaten	90
4.7.4	Discussie	92
4.7.5	Conclusies	93
4.7.6	Microscopisch onderzoek	93
4.8	Dynamische rekproeven	94
4.8.1	Inleiding	94
4.8.2	Methode	94
4.8.3	Resultaten	95
4.8.4	Discussie	95
4.9	Slotconclusie over de proefnemingen met het larynxpreparaat	96



Hoofdstuk 5	HET ONDERZOEK MET PROEFPERSONEN	97
5.1	Inleiding	97
5.2	Gecombineerd elektroglottografisch en stroboscopisch onderzoek	97
5.3	Het fonetogram	98
5.3.1	Inleiding	98
5.3.2	Meetopstelling voor het opnemen van fonetogrammen	98
5.3.3	Resultaten	99
5.3.4	Discussie	100
5.3.5	Conclusie	106
5.4	Methode en meetopstelling voor het opnemen en verwerken van het elektroglottogram bij proefpersonen	106
5.5	De proeven bij één proefpersoon	108
5.5.1	Opzet van de proeven	108
5.5.2	Resultaten	108
5.5.3	De quotiëntberekening bij één proefpersoon	109
5.6	De proeven bij zes proefpersonen	117
5.6.1	Opzet van de proeven bij zes proefpersonen	117
5.6.2	Resultaten	118
5.7	Discussie	124
5.8	De keuze van de vocaal bij het maken van het elektroglottogram	130
5.8.1	Inleiding	130
5.8.2	Meetmethode	131
5.8.3	Resultaten	132
5.8.4	Discussie	132
5.9	De invloed van de keuze van het elektroglottogram op de quotiënten	133
5.9.1	Inleiding	133
5.9.2	Methode en resultaten	134
5.9.3	Discussie	135
Hoofdstuk 6	QUOTIENTENVERGELIJKING, MODEL EN SLOTBESCHOUWING	136
6.1	Inleiding	136
6.2.1	Quotiëntenvergelijking met gegevens uit de literatuur	137
6.2.2	Discussie	143
6.3	De vorm van het elektroglottogram bij het toepassen van implantaten in larynxpreparaten	144
6.3.1	Inleiding	144

6.3.2	Methode	145
6.3.3	Resultaten en discussie	146
6.4	Een elektrisch model	150
6.4.1	Inleiding	150
6.4.2	Berekeningen aan het model	151
6.4.3	Conclusie	155
6.5	Registers	156
6.6	Klinische toepassing	157
Samenvatting		159
Summary		162
Résumé		165
Zusammenfassung		168
Literatuur		171-179
Appendix		180
Curriculum vitae		181

### 1.1 Inleiding.

De 'elektroglottografie' is een onderzoeksmethode om de stembandtrillingen tijdens de stemgeving objectief en zonder tussenkomst van een keelspiegel te kunnen nagaan.

Aanvankelijk was slechts de langzame stembandbeweging te volgen via de indirecte laryngoscopie met de keelspiegel (Garcia, 1855). Deze techniek werd door Oertel (1878) met de stroboscopie gecombineerd, zodat ook de snelle stembandbewegingen gevolgd konden worden. In 1937 was Farnsworth (Bell Telephone Laboratories) in staat om via de keelspiegel filmopnamen van de glottis te maken met een snelheid van ongeveer 4000 beeldjes per seconde. Inmiddels is deze snelheid opgevoerd tot 10.000 beeldjes per seconde en kan in kleur gefilmd worden (Hiroto, 1968; Hirano, 1975). Door middel van de computer kan de beweging van rechter en linker stemband grafisch weergegeven worden (Sorono, 1967; Hayden en Koike, 1972; Hirano, 1975; Tanabe e.a., 1975).

Ook de directe laryngoscopie, zonder keelspiegel, kan informatie geven over de snelle stembandbeweging. Bjuggren (1960) maakte flitsopnamen via een 90° optiek en wist de verschillende fases van de trillingscyclus vast te leggen. Door Saito (1973, 1977) werden niet-geïntubeerde patiënten onder neuroleptanaesthesie met behulp van de laryngoscoop volgens Kleinsasser (1968) stroboscopisch geobserveerd. Tegelijkertijd werd de oorspronkelijke glottisbijdrage in het geluidssignaal verkregen door middel van 'inverse filtering' (Fant, 1961).

Naast deze visuele registratiemethoden ontwikkelden zich elektrische technieken. Philip Fabre (1957) experimenteerde te Lille met de elektroglottografie (EGG), de meting van de elektrische impedantie over het strottenhoofd. Deze methode kwam voort uit de 'elektroreometrie', de meting van volumeveranderingen in de bloedvaten door middel van de weerstandsmeting voor een hoogfrequente wisselstroom. Door Soneson (1960) werd het effect van licht, dat door de bewegende glottis op een fotocel valt, bestudeerd. Deze registratietechniek kreeg de naam 'fotoglottografie' (FGG). Holmer e.a. (1973) ontwikkelden de 'echoglottografie', een onderzoek naar de bijdrage van de linker en rechter stemband in de trillingscyclus door middel van ultrageluid. Beide laatste technieken zijn nog in ontwikkeling. Bij de bestudering van de snelle stembandbeweging kan ook het geproduceerde geluid geanalyseerd worden. Hiervoor komt de 'inverse filtering' in aanmerking (Miller, 1959; Fant, 1961), waarbij de filtering van de primaire la-

rynxtoon door het aanzetstuk wordt berekend. Het uitgefilterde signaal wordt met het resterende signaal gecombineerd tot een golfvorm, die overeenkomt met de 'primaire glottistoon'.

Bij de elektroglottografie waartoe dit onderzoek zich zal beperken, wordt ter hoogte van de stembanden de elektrische impedantie van een zwakke wisselstroom met een hoge frequentie gemeten. In de elektrische impedantie spelen weerstand, capaciteit en inductie een rol. De complexe weerstand wordt op een oscilloscoop zichtbaar als het elektroglottogram. Echter, ondanks de eenvoud van deze techniek, is over de juiste interpretatie van de curve nog geen overeenstemming bereikt. Dit onderzoek zal zich dan ook bezig houden met de relatie tussen het elektroglottogram en de trillingscyclus van de stembanden. Een mogelijke sleutel voor het beantwoorden van een dergelijke vraag ligt in de vergelijking van elektroglottogrammen verkregen bij metingen aan geëxciëerde menselijke strottenhoofden en bij metingen van levende proefpersonen. Bij de interpretatie van de elektroglottogrammen, verkregen bij verschillende frequenties in het fonatiebereik, ontbreken tot nu toe normaalwaarden. Reinsch (1972) heeft een berekening van het openings- en sluitingsquotient gegeven, berekend aan de hand van observatie van 23 proefpersonen. Uit dit onderzoek blijkt dat er een min of meer lineair verband bestaat tussen de openings- respectievelijk sluitingstijd en de frequentie van de stembandtrilling. Het in dit proefschrift beschreven onderzoek bestaat dus enerzijds uit een quantificatie van de gegevens verkregen bij het normale elektroglottogram bij preparaten en proefpersonen, anderzijds zal een verklaring worden gezocht voor diverse markante trajecten van het elektroglottogram. Tevens zal worden ingegaan op de vraag of bepaalde vormen karakteristiek kunnen worden genoemd voor bepaalde pathologische toestanden.

Binnen het gebied van de spraakpathologie is het aanmerkelijk moeilijker dan binnen het gebied van bij voorbeeld de audiometrie om criteria aan te geven voor het vaststellen van bepaalde stoornissen. Het ontbreekt de onderzoeker namelijk aan voldoende objectieve criteria. In de foniatrie is de diagnostiek noodzakelijkerwijs nog steeds vaak gebaseerd op subjectieve waardeoordelen in combinatie met de bevindingen van het keelspiegelonderzoek, eventueel aangevuld door stroboscopische beelden. Deze diagnostiek levert daarom met name aan foniaters, die nog niet de grondige auditieve ervaring bezitten om dit subjectieve waardeoordeel op te bouwen, veel problemen op. Het elektroglottogram kan hierin hulp bieden.

## 1.2 Anatomie

### 1.2.1. Inleiding

De larynx heeft een groot aantal functies, waarvan de bijdrage aan de menselijke spraak er slechts één is en evolutionair gezien de recentste. De larynx is een orgaan met een klepmechanisme aan de ingang van de lagere luchtwegen met een bewakingsfunctie. Eigenlijk is de fonatie een toevoeging aan de respiratiefuncties. Het larynxskelet bestaat uit een kraakbenige constructie van negen elementen, bijeengehouden door ligamenten. In en om dit doosvormige skelet zijn grotere en kleinere spieren aanwezig. Het skelet bestaat uit een schildkraakbeen (cartilago thyreoidea), een ringkraakbeen (cartilago cricoidea), twee bekerkraakbeentjes (cartilagines arytenoideae), een strottenklepje (cartilago epiglottica) en nog vier minder belangrijke kleine kraakbeentjes (Santorini en Wrisberg). Het skelet is aan de binnenzijde bedekt met slijmvlies, dat zich naar craniaal voortzet in de bekleding van de pharynx en naar caudaal in die van de trachea. Het bovendeel is ruwweg driehoekig op een horizontale doorsnede. Het onderste deel is rond. De hoek die de vlakken van het schildkraakbeen bij de man vormen is ongeveer  $90^{\circ}$  en bij de vrouw ongeveer  $120^{\circ}$ . De onderbouw heeft kleinere afmetingen dan de bovenbouw. Tussen onder- en bovenbouw liggen de ware en valse stembanden, aan de ventrale zijde ontspringend in de hoek van het thyreoïd, aan de dorsale zijde insererend aan de twee bekerkraakbeentjes, welke articuleren met de craniale zijde van het cricoid. Het schildkraakbeen en het ringkraakbeen articuleren synoviaal op de overgang van de lamina naar de ring van het cricoid. Het eveneens synoviaal functionerend gewrichtje tussen arytenoid en cricoid is geen passend gewricht. De onderzijde van het arytenoid is concaaf, doch niet overeenkomstig het convexe gewrichtsoppervlak van het cricoid. Het relatief vlakke arytenoidgewrichtsvlak kan hierdoor een ruimere excursie maken, namelijk één die het midden houdt tussen hobbelen en glijden. Hierdoor kan naast een rotatie om een schuin geplaatste as ook een naar elkaar toe en van elkaar af bewegen plaatsvinden van de processus vocalis van het arytenoid, mede daarin geholpen door het betrekkelijk slappe gewrichtskapsel. Bij het schroefachtig naar achteren rollen ontstaat een heffen en abducere van de processus vocalis. Bij het naar voren rollen is er een dalende en adducerende beweging van de processus vocalis. Door de glijdende beweging te combineren met de asbeweging van het gewricht zijn ad- en abductie bij het naar achteren en naar voren geschoven arytenoid mogelijk. Het kapsel van het gewricht wordt versterkt door het ligamentum crico-arytenoideum. Dit beperkt de uitwijkmogelijkheden van het arytenoid.

Bij de glij- en scharnierbewegingen wordt deze band gespannen en houdt hij het cartilago arytenoidea vast in een cirkelbeweging welke als middelpunt de oorsprong van deze band op het cartilago cricoidea heeft. De rustpositie wordt door deze band en het spierevenwicht bepaald. Deze ruime excursies maken de verschillende standen van de processus vocalis mogelijk, welke bij de verschillende registers van de stem behoren. Deze standen van de processus vocalis schijnen een belangrijke rol te spelen in de trillingsvorm die de stembanden aannemen (Kühl, 1977).

#### 1.2.2. De spiertjes van de larynx

##### *M. cricothyreoideus*

**Origo:** De ventrale zijde van de arcus cartilaginis cricoideae, zich daarna splitsend in een pars recta en een pars obliqua. Dit verbetert het spiermoment en daarmee de kracht.

**Insertie:** Waaiervormig aan de onderzijde van het cartilago thyreoidea tot aan de onderste tuberkel. Straalt ook aan de dorsale zijde uit in de conus elasticus.

**Functie:** Rekken en verlengen van de stemband met een lichte adductie doordat de boog van het cricoid naar het cartilago thyreoidea wordt gebracht. Het thyreoid blijft door de extrinsieke larynxspieren grotendeels gefixeerd (Faaborg-Andersen, 1957; Zenker, 1960; Wustrow, 1965). De verlenging resulteert in een dunner mediaal deel van de stemband. De lengtetoeename zou bij de mens in de orde van 25 % bedragen (Hollien, 1971). (Bij honden werd door Koike (1974) een stembandverlenging verkregen van 9 % door éénzijdige contractie van de *m. cricothyreoideus*). Tevens wordt door het aanspannen het craniale niveau van de stemband hoger verplaatst.

**Innervatie:** Door de ramus externus van de *n. laryngeus superior* (N X). Volgens enkele auteurs (geciteerd door Wustrow, 1965) zou ook een takje van de *n. recurrens* (*n. laryngeus inferior*) bijdragen aan de innervatie.

Antagonistisch werkt de *m. cricopharyngeus*, welke bij een contractie het cricoid naar onder en naar voren verplaatst, zodat de stembanden verkort worden. Er is dus sprake van een tegengestelde kiepfunctie (Zenker, 1958), omdat het cricoid uit de articulatie met het thyreoid geperst wordt. Daarnaast werkt de trachea als een rem op het naar boven gaan van de larynx als geheel. Na een zekere verplaatsing naar craniaal bij voorbeeld tijdens fonatie bij een stijgende toonreeks, zal de voorzijde van het cricoid weer verplaatsing naar caudaal

vertonen, gepaard gaande met verkorting van de stembanden.

Synergistisch met de *m. cricothyreoideus* werkt de *m. thyreopharyngeus*, welke de laminae thyreoideae bij een niet verkalkt skelet naar elkaar toe-brengt en de stembanden wat verlengt.

*M. vocalis* = *m. thyreoarytenoideus internus* (of *medialis*).

Origo: Niet af te grenzen van de *m. thyreoarytenoideus externus*, loopt de *m. vocalis* van de binnenvlakte van de lamina thyreoidea in parallelle vezels naar de insertieplaats.

Insertie: De processus vocalis cartilaginis arytenoideae en lateraal daarvan de fovea oblonga.

Volgens Wustrow (1952) en van den Berg en Moll (1955) kan de *m. vocalis* onderverdeeld worden in een bovenliggende partij spiervezels, de portio thyreo-vocalis, en een daaronderliggend deel, de portio thyreomuscularis. Rohen (1968) trok op grond van literatuurgegevens en eigen onderzoek de volgende conclusies:

- 1 - Er is geen insertie van spiervezels in het ligamentum vocale.
- 2 - De spiervezels zijn met elkaar vervlochten zoals in een vlecht. Zie fig. 1 en 2.

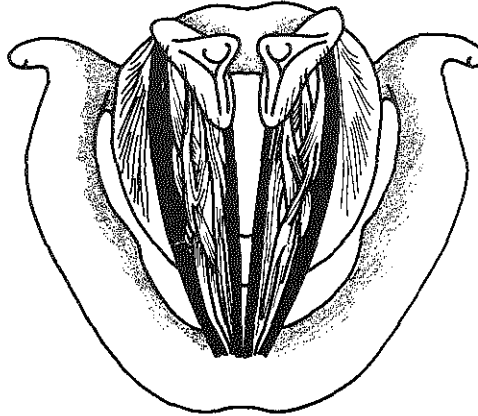


Fig. 1 Bovenaanzicht van de glottis met vervlechting van de spiervezels (naar Rohen, 1968)

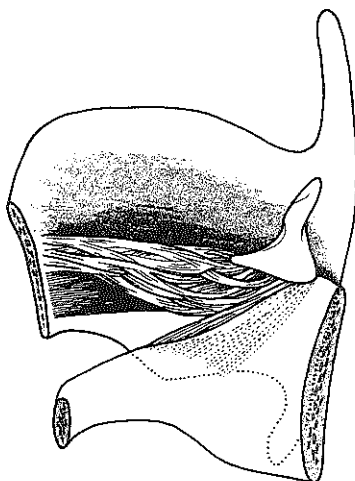


Fig. 2 Zijaanzicht van de m. vocalis met innige verweving van de spiervezels (naar Rohen, 1968)

3 - De aanwezigheid van een portio thyreovocalis en thyreomuscularis is onwaarschijnlijk. Door het vlechtwerk valt namelijk de m. vocalis uiteen in vezelgroepen, die bij een bepaalde prepareertechniek de genoemde verdeling oplevert. In feite is er een structurele eenheid. Het onderscheid in het vlechtwerk van spiervezels is het duidelijkst bij de aanhechting aan het arytenoid, alwaar tussen de processus vocalis en de processus muscularis een ruimte ontstaat, welke echter aan de voorzijde bij het schildkraakbeen niet aanwezig is ten gevolge van de innige vervlechting.

Functie: Door verkorting wordt de m. vocalis dikker. Dit werkt door in de contouren van zijn mediale begrenzing, vooral in het middengebied. Tezamen met deze verkorting wijzigt zich de stembandlengte; in welke mate is echter niet precies bekend. Koike (1974) geeft op, dat bij honden slechts een verkorting van enige procenten blijkt op te treden. De werking lijkt dus hoofdzakelijk isometrisch. Bij contractie treedt tevens een adductie op. Door het vlechtwerk van de m. vocalis is de spanning in de spier hoger op te voeren dan in een parallel gerangschikte spier. Men denke in dit verband aan een tros van manillahennep. De homogeniteit wordt verhoogd door het aanspannen van de ver-



vlochten bogen, welke daardoor tegen elkaar drukken. De toename in homogeniteit vergroot de mogelijkheden bij het regelen van de tonus en is van belang bij de frequentiewisselingen. Bij deze tonusregeling wordt door Wyke (1974) de aandacht gevestigd op de aanwezigheid van een groot aantal gevoelige mechanoreceptoren in de m. vocalis en de in de omgeving liggende gewrichtsvlakjes. Vooral in het achterste larynxgedeelte is het aantal receptoren groot. Zie verder biz. 22. De uiteindelijke contourveranderingen van de m. vocalis bepalen de veranderingen van de rand van de glottisspleet, welke verder door ligamentum vocale en mucosa wordt gevormd. Spanningsveranderingen binnen de spier maken verschillende wijzen van trillen van de twee stemplooien mogelijk.

Innervatie: N. recurrens

De stemplooi wordt gevormd door de mucosa, het ligamentum vocale, de conus elasticus, de m. vocalis en de m. cricoarytenoideus lateralis. Gezien deze anatomische en fysiologische eenheid worden ligamentum vocale en mucosa op deze plaats besproken.

Ligamentum vocale

Origo: Nodulus elasticus of macula flava van het schildkraakbeen.

Insertie: Macula flava posterior, het elastische kraakbeen van de spits van de processus vocalis cartilaginis arytenoideae. In het ligamentum vocale zijn collagene en elastische vezels tot één functionele eenheid verbonden. Bij de pasgeborene overweegt het collagene, bij de oudere mens het elastische vezelsysteem (Mayet, 1955). De elastische vezels verlopen bij de pasgeborene gekruist en vormen een netwerk. Bij de oudere mens ziet men ze meer parallel verlopen. Deze paralleliteit neemt met de leeftijd van mediaal (direct onder het plaveiselepitheel liggen altijd enige parallelle lagen) naar lateraal toe, mogelijk onder invloed van rek, zodat de overkruisingshoek als het ware kleiner wordt. De collagene vezels echter zijn in alle levensfasen gelijk geordend. Het stemfysiologisch aspect van deze veranderingen is nog niet duidelijk.

De stemplooi wordt bekleed door plaveiselepitheel. Overal in de larynx bevinden zich eilandjes plaveiselepitheel temidden van cilindrisch epitheel. De overgang van het plaveiselepitheel naar het cilindrisch epitheel vormt een lijn, de linea arcuata superior (Reinke, 1885; Waar, 1970), welke in de sinus Morgagni ligt. De caudale grens is de naar boven concave linea arcuata inferior. Volgens Reinke is de voorste grens de nodulus elasticus, de achterste de punt

van de processus vocalis. De caudale en craniale begrenzing van deze 'Ruimte van Reinke' geeft de overgang plaveisel-cylinder-epitheel aan (Hajek, 1925). Volgens Ruedi (1955), die deze proeven herhaalde, wordt de epitheelovergang niet door de aldus verkregen ruimte van Reinke aangegeven, doch wordt zij craniaal en caudaal bepaald door een onder het epitheel gelegen lamellensysteem, dat afkomstig is van het ligamentum vocale.

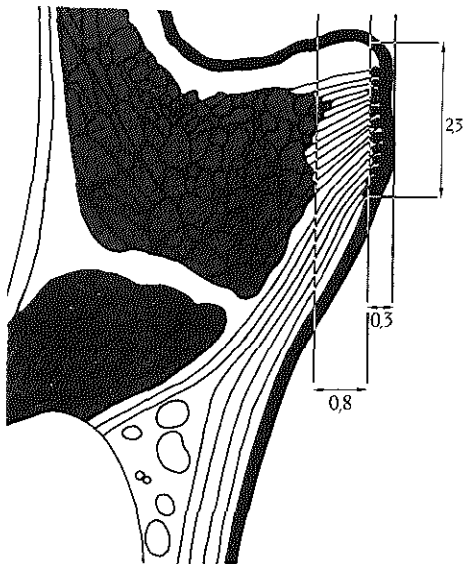


Fig. 3

Frontale doorsnede van de plica vocalis. Vanuit de rand van de m. vocalis lopen subepitheliaal elastische vezels naar het epitheel en vormen in de lamina propria papillen, welke in het epitheel plooien in de lengterichting veroorzaken. Naar Mayet, 1955. De opgegeven waarden zijn in mm. (ontleend aan Hirano, 1975).

Bekijkt men in een frontale doorsnede het ligamentum vocale naar Mayet (1955) (fig. 3), dan blijken er subepitheliaal in de lamina propria papillen aanwezig te zijn die van zijdelings bekeken fijne plooien in de lengterichting van de stembandmucosa veroorzaken.

Na voorbereiding met 1 % azijnzuur kan men het subepitheliale systeem verder analyseren. Men vindt dan een netwerk van elastische vezels dat het ligamentum vocale (collagene en elastische vezels) verbindt met het epitheel, zoals in fig. 3 getekend is. De bovengrens van dit netwerk bepaalt de onderzijde van het zogenaamde Reinke's oedeem. De bovengrens van dit oedeem is evenwel minder goed bepaald. Daarentegen zijn de voor- en achterzijde weer goed af te grenzen aangezien het subepitheliale netwerk vanaf het arytenoid in de

overlangse plooien (op doorsnede papillen) uitstraalt en vanaf de voorzijde gelijkmatig in de basaalmembraan of direct in het epitheel uitmondt. Het elastisch netwerk bepaalt de extra uitwijkmogelijkheden van de slijmvliesbekleding bij het aanzuigen van de stembanden door het Bernoulli-effect (zie blz.16).

De structuur van deze ruimte is voor het nog te bespreken onderzoek van belang omdat in de proeven met larynxpreparaten deze virtuele ruimte geopend wordt om er implantaten van verschillend materiaal in aan te brengen, waarna elektroglottogrammen gemaakt worden.

Resumerend kan men zeggen, dat de m. vocalis en de m. cricothyreoideus de contour van de stemplooi bepalen, terwijl de bekleding afhankelijk van het onderliggend steunweefsel ten gevolge van de luchtstroom rimpelt. Dit is schematisch weergegeven in fig. 4. Door wisselende instellingen van de twee spier-tjes neemt de frontale doorsnede van de stemband telkens een andere vorm aan.

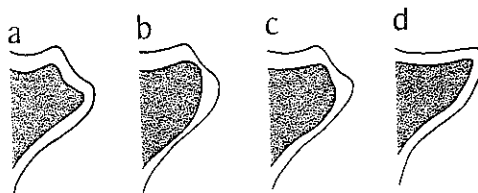


Fig. 4

a - c geven een schematische doorsnede van de plica vocalis weer bij vier verschillende fysiologische instellingen, die afhankelijk zijn van de mechanische stijfheid van minstens 2 componenten van de stemplooi. De oppervlakkige component (wit) bestaat uit plaveiselepitheel en lamina propria (ruimte van Reinke, ligamentum vocale met elastische en collagene vezels). De diep gelegen component (grijs) is de m. vocalis. Onder invloed van het samenspel in de contractie van de m. vocalis en de m. cricothyreoideus neemt de arcering een andere vorm aan waarover de mucosa op een verschillende wijze kan rimpelen. Het contactvlak kan onder invloed van de verschillende stijfheid van de componenten van deze dubbele vibrator zich wijzigen.

(naar Hirano, 1974, 1975, 1977).

*M. thyreoarytenoideus lateralis*

Origo: Laterale voorzijde van het schildkraakbeen.

Insertie: Crista arcuata cartilaginis arytenoideae en het meer naar voren gelegen vlak.

Functie: Trekt het arytenoid naar voren en naar beneden en zorgt daarmee voor een spierbeweging, welke antagonistisch is ten opzichte van de *m. cricoarytenoideus posterior*. Verder wordt de voorzijde van het arytenoid naar de middellijn gebracht.

De spier is in feite moeilijk af te grenzen van de *m. thyreoarytenoideus medialis* (= *vocalis*), welke een onderdeel van het spanapparaat is.

Innervatie: *N. recurrens*.

De *M. arytenoideus transversus* en *obliquus*.

Zij vormen samen de *m. interarytenoideus*.

Origo en insertie: De achterzijde van de arytenoiden.

Functie: Deze spiertjes brengen de twee kraakbeentjes naar elkaar toe. Zij verhogen daarmee ongetwijfeld de efficiëntie van de geluidsproductie door de glottis (zie blz. 18). Het gekruiste verloop speelt hierin een rol. Door de aanwezige slijmvliesbekleding sluit het pars intercartilaginea zich bij aanspannen van de spiertjes. Daarnaast is de functie van andere spiertjes welke aan het arytenoid aanhechten van de *m. interarytenoideus* afhankelijk. Zo is de *cricoarytenoideus lateralis* een adductor als de *interarytenoidei* contraheren, doch een abductor wanneer zij verslapt zijn.

Innervatie: *N. recurrens*, ipsi- en contralateraal (mogelijk ook de *nervus laryngeus superior*).

De *M. cricoarytenoideus lateralis*.

Origo: *Processus muscularis* van het arytenoid.

Insertie: Laterale bovenzijde van de *arcus cartilaginis cricoideae*

Innervatie: *N. recurrens*.

Functie: Deze spier trekt het arytenoid over het glijvlak van het cricoid naar voren en beneden. Mede door het *ligamentum cricoarytenoideum* resulteert dit in draaiing van het arytenoid met een heffende en een adductiebeweging (dit laatste wanneer de *m. interarytenoideus* aangespannen is) (Denker, 1925, Wustrow, 1965). Het pars interligamentosa van de glottis wordt gesloten, ook bij een deels open pars intercartilaginea. Dit vindt plaats bij fluisteren en zuchten, waarbij de achterste glottisdriehoek dan dus min of meer geopend

blijft.

Fysiologisch is hierbij het volgende op te merken.

Hast (1971) verrichtte contractieproeven bij honden en ging de reactietijden van de *m. cricoarytenoideus lateralis* na, om zo een indruk te krijgen over reactiesnelheden tijdens de fonatie. Vergeleken met andere spieren heeft de onderhavige spier de kleinste massa. Hij is evenwel in zijn reactietijd snel en kan daarin vergeleken worden met de *m. tibialis anterior*. Hij is sneller dan de *m. cricothyreoideus* en de *m. cricoarytenoideus posterior*, doch langzamer dan de *m. vocalis*.

De *M. cricoarytenoideus posterior*.

Origo: Lamina cartilaginis cricoideae. Een raphe op de achtervlakte van het cricoid verdeelt de oorsprong van de spier in een rechter- en linker partij.

Insertie: Processus muscularis cartilaginis arytenoideae.

Innervatie: N. recurrens.

Functie: Hij brengt de arytenoiden in een abductiestand en regelt daarmee de grootte van de glottisopening tijdens de inademing.

### 1.3 Fysiologie

#### 1.3.1. Inleiding

Vóór de ontdekking van de larynxspiegel door Manuel Garcia (1855) had praktisch niemand de stembanden tijdens de stemgeving gezien. Nog steeds is de spiegeltechniek in zwang als de eenvoudigste en snelste visuele onderzoeksmethode van de stemspleet. Evenwel is de vibratie met het blote oog niet goed te onderzoeken. De trillingsfrequentie van de stembanden ligt meestal boven de 80Hz en is daardoor zonder hulpmiddelen niet voor 't menselijk oog waarneembaar (de Lange, 1952). Samen met het trommelvlies zijn de stembanden de 'high speed vibrators' van het lichaam. Evenals bij een trillende snaar ziet men alleen een onscherpe rand. Plateau (1829) en Stampfer (1834) introduceerden het stroboscopische principe. Doppler (1866) zou de stroboscoop voor de eerste maal op de stembandbeweging hebben toegepast via de spiegeltechniek van Garcia (Husson, 1932). Door de stroboscopische onderzoeksmethode wordt de voortlopende golfbeweging als het ware in één stand bevroren, tenzij men er een langzame beweging van maakt met behulp van een delta-f systeem (van den Berg, 1962).

Dit laatste werd mogelijk door de mechanische stroboscopen (Oertel) te vervangen door elektronische.

De trillingen van de stembanden zouden zich volgens de theorieën van vóór 1938 slechts in een horizontaal vlak afspelen. De driedimensionale trillingswijze werd voor het eerst uitvoerig beschreven door Hartmann en Wullstein (1938).

Uit de resultaten van een gelijktijdige registratie van de stembandbeweging met behulp van doorvallend licht door de stemspleet zowel op lichtgevoelig papier (schaduwschrift) (Trendelenburg en Wullstein, 1935) als op een fotocel (Hartmann en Wullstein, 1938) bleek een faseverschil tussen beide opnametechnieken te bestaan. Dit werd toegeschreven aan een driedimensionale stembandbeweging. Deze zienswijze werd afzonderlijk in 1937 door middel van ultrasnelle filmopnames (Farnsworth, Bell Telephone Laboratories) bevestigd. Tegenwoordig neemt men aan, dat de beweging inderdaad driedimensionaal is. De stembanden verschillen daarbij soms in fase, terwijl er ook faseverschillen tussen gebieden in de voorste en achterste commissuurregio bestaan. Het is niet geheel duidelijk of dit ontstaat onder invloed van de spiercontracties of onder invloed van elasticiteitseigenschappen, welke per stemband verschillen. Uit onderzoekingen van Ishizaka en Matsudaira (1972) bleek, dat één punt op het stembandoppervlak een ellipsvormige beweging beschrijft, waarvan de hoofdas scheef gericht staat ten opzichte van de verticale en horizontale. De laterale component van de beweging overheerst de verticale beweging. Met stroboscopie herkent men dit als een rimpel welke naar lateraal wegloopt. Bij een geëxideerde menselijke larynx werd de beweging van één punt nagegaan door Matsushita (1975) door middel van ultra-snelle filmopnamen (fig. 5). Hij vond dat bij de sluiting één punt zich op het traject van een ellips naar binnen, naar voren en omlaag beweegt. Op het moment van sluiting wordt de beweging naar binnen, naar voren en omhoog. Bij het openen gaat dit punt naar buiten, naar achteren en omhoog om op het verste punt aan de bovenzijde van de ellips naar buiten, naar achteren en naar beneden te bewegen. Ook met behulp van röntgenologisch onderzoek in combinatie met stroboscopie (STROL = stroboscopie laminagraphy) (Hollien en Colton, 1969) is een indruk te krijgen over de ellipsvormige beweging. Saito (1977) bracht zeer kleine loodpartikels in de mediale rand van de stemband. Door de tomografische röntgenopnamen, via de STROL vervaardigd, achter elkaar te monteren was een ellipsfiguur aan te tonen. Visueel blijft men immers tot twee dimensies beperkt, omdat men de diepte van de contactzijde mist nadat de sluiting heeft plaats-

gevonden. Veel theorieën zijn gebaseerd op hetgeen men ziet, doch het blijft gevaarlijk zich op visuele indrukken te baseren bij het interpreteren van meerdimensionale bewegingen zoals akoestische, flow- en drukvariaties. Echter ook het zien van twee-dimensionale beelden van de glottisbeweging kan bijzonder waardevolle informatie geven bij de begripsvorming omtrent de menselijke stemproductie. Dit is ook van belang bij de interpretatie van het EGG: bij het elektroglottogram is er sprake van een telkens in grootte wisselend contactvlak tussen beide stemplooien met dienovereenkomstige elektrische weerstandsveranderingen, welke tweedimensionaal worden weergegeven. Niettemin bleek het andere onderzoekers (Koike en Hirano, 1973) mogelijk een verband te leggen tussen de tweedimensionale glottisvariatie (berekend met high-speed opnamen) en subglottische drukvariaties. De maxima in de drukgolven kwamen namelijk overeen met de minima van de glottisoppervlakten. Derhalve zal in dit onderzoek naar een verband gezocht worden tussen het elektroglottogram en het wisselende contactvlak van de stemplooien tijdens de trillingscyclus.

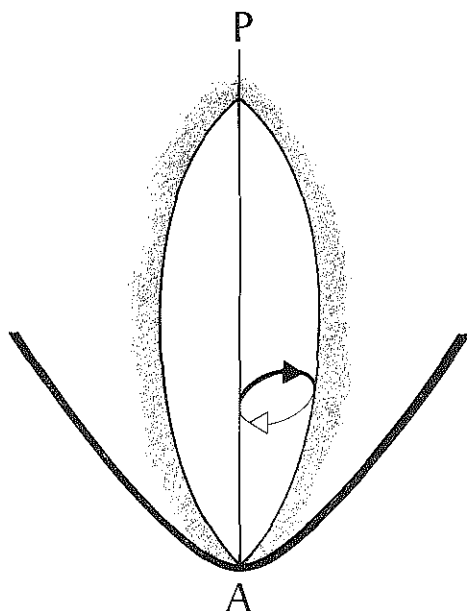


Fig. 5

Schematische weergave van één punt op de stembandrand tijdens de trillingscyclus, weergegeven door een ellips (naar Ishizaka en Matsudaira, 1972 en Matsushita, 1975).

A = anterior, P = posterior.

### 1.3.2. Theorieën over het ontstaan van de stembandtrillingen

Feitelijk wordt tegenwoordig nog slechts één theorie over de trillingswijze van de stembanden als juist geaccepteerd: de aërodynamische of myoëlastische theorie (Ewald, 1913; van den Berg, 1954; Hiroto, 1966) maar dit pas na langdurige controversen.

Het is de verdienste van Husson geweest door zijn neurochronaxie-theorie vele onderzoekers uitgedaagd te hebben, die meestal na eigen onderzoek zijn zienswijze niet meer bleven steunen. Husson's theorie krijgt hier alleen uit historisch oogmerk de aandacht, omdat vele Franse elektroglottografie-onderzoekers zijn ideeën meenden te kunnen accepteren, zonder evenwel kritisch genoeg te zijn.

Husson (1950, 1962) ontvouwdde de visie, dat de larynx via de n. recurrens cortico-bulbair bestuurd wordt, 'coup pour coup'. Bij een bepaalde grondtoon is de frequentie direct afhankelijk van een aantal overeenkomstige impulsen, welke via de n. recurrens binnenkomen. De bovengrens van de hoogst bereikbare grondtoon wordt bepaald door de refractaire periode van het nerveuze geleidings-systeem, waarvan aangenomen wordt dat dit op ongeveer 2 msec. ligt. De werking van de m. vocalis, welke 'coup pour coup' de grondtoon zou verzorgen, wordt verder uitgelegd door middel van de zogenaamde polyfasische innervatie (fig. 6).

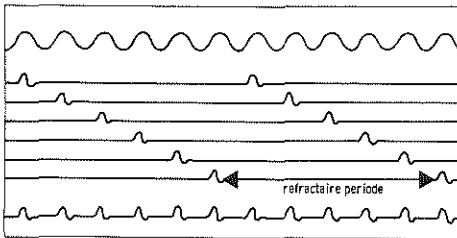


Fig. 6

De theorie van Husson.

De bovenste golfbeweging is de stembandtrilling. De onderste golfbeweging, voorstellende actiepotentialen in de n. recurrens, activeert 6 spierunits met hun eigen refractaire periode, zodat in de m. vocalisbeweging eenzelfde trillingsfrequentie optreedt als in de n. recurrens. De spiervezels zelf zijn slechts 1/6 van de trillingstijd actief. Naar Husson, 1950.

Verschillende fasegroepen kunnen ingeschakeld worden in de spierunit (nervus en motorische eindplaat) van de m. vocalis. De eerste groep bestrijkt 80-580 Hz, de tweede groep 580-1160 Hz enz. tot 2300 Hz toe. Dit 'opschakelen' van de 4 regelsystemen wordt bulbair bestuurd. Op die manier kan iedere groep zijn eigen refractaire periode hebben.



Zoals Faaborg-Andersen (1957) terecht opmerkt, is het niet zinvol alleen met de refractaire periode van de zenuw rekening te houden, doch ook met de refractaire periode van het gehele complex van zenuw en spier. Men komt dan op 3-4 msec. in plaats van 1,8-2 msec.

Vele onderzoekers (bij voorbeeld Hast, 1967; Dunker, 1969; Vallancien, 1972) geven aan, dat de hoogst haalbare frequentie van de m. vocalis ongeveer 40 Hz blijkt te zijn. Per intrinsieke larynxspier is er enig verschil in reactietijd, doch boven 40 Hz gaan alle spiertjes in een tetanische contractietoestand over. Dit komt overeen met de gegevens uit de algemene spierfysiologie (Dunker e.a., 1958).

Als verklaring voor de theorie van Husson beschrijft van den Berg (1957) het microfoon-effect in de larynx, hetwelk bij het plaatsen van naaldelektrodes optreedt. Met concentrische of haakvormige elektrodes ontstaat dit verschijnsel niet (Hirano e.a., 1967). Door de passieve en gelijktijdige deformatie van spiervezels en celmembranen, zoals deze optreedt tijdens de stembandtrillingen, ontstaat het microfoon-effect, hetwelk synchroon met de trilling is. Iets dergelijks wordt ook gevonden in de cochlea en staat daar bekend als het Wever en Bray-effect (Bleeker en de Vries, 1949). Dit is naar alle waarschijnlijkheid het signaal geweest dat Husson met zijn elektrodes vond.

Relevant voor de historie zijn de onderzoeken van Piquet e.a. (1957), Sabouraud e.a. (1958) en van Van Michel (1964), die met de elektroglottografie stembandtrillingen waarnamen zonder dat er stemgeluid hoorbaar was. Deze waarnemingen gaven steun aan de theorie van Husson, die zelfstandige m. vocaliscontracties zonder geluidsemissie impliceert. Van den Berg (1962) vocht deze verklaring aan, omdat er met de aërodynamische theorie ook stembandtrillingen mogelijk zijn zonder geluidsemissie. Dit is recent nog eens door de onderzoeker Lebrun (1971) bevestigd. Bij het op gang komen van een aaneengesloten trillingsperiode worden de stembanden eerst aangeslingerd. Pas wanneer er een geluid ontstaat ten gevolge van goed gevormde luchtpulsen is er ook een elektroglottogram met een normale curvevorm. Dit past in de aërodynamische theorie.

Als enige juiste theorie van de stembandbeweging geldt tegenwoordig dus de mechanische zienswijze, zoals vastgelegd in de aërodynamische-myoëlastische theorie. Deze is gebaseerd op een interactie van drie factoren, welke hieronder uitvoerig besproken zullen worden:

- 1 - de aërodynamische eigenschappen van de glottis, waardoor de larynxtrilling op gang komt, o.a. het Bernoulli-effect,

- 2 - de samenstelling van de larynx (spieren met innervatie, receptoren, centraal nerveuze regulatie en de myoëlastische eigenschappen van de larynxcomponenten).
- 3 - de aërodynamische koppeling tussen het subglottische systeem en de stemplooien, tussen de linker en de rechter stemband onderling en tussen de stemplooien en het supraglottische systeem (1.3.3).

Men zou de larynx kunnen beschouwen als een bijna ronde buis. Tijdens de fonatie kan men de stembanden opvatten als een membraan met een centrale spleet (glottis), welke dwars door de buis is gespannen. De lucht wordt door de spleet geperst. De weke consistentie van de stemband laat allerlei verplaatsingen vanuit de evenwichtspositie naar alle richtingen plaatsvinden. De souplesse van het weefsel krijgt een extra accent doordat de mucosa, welke de m. vocalis en het vocale ligament bedekt, ten opzichte van de onderlaag kan glijden. Onder het epitheel bevindt zich een losmazige laag: de ruimte van Reinke. Deze ruimte functioneert als een bursa zoals men die rond andere gewrichten en op drukplaatsen vindt. Hij vergroot de beweeglijkheid van het stembandcontactvlak gedurende de trillingscyclus. Bovendien wordt de wrijvingswarmte door het vloeistoflaagje in deze ruimte afgevoerd. Op de mucosa van de stemband komt vanuit de sinus Morgagni en vanuit het subglottische gebied een slijm laag, welke voor de smering zorgt. De ramus internus van de n. laryngeus superior zou lateraal van de sinus Morgagni een apart ganglion vormen, dat de productie van deze 'olie' regelt (Ramawamy e.a., 1974). Het Bernoulli-effect kan slechts bij een goede smering plaatsvinden, omdat de visco-elastischeiteit van de mucosa hierdoor mede bepaald wordt.

Hiroto (1966) heeft dit verwerkt tot een hypothese, de zogenaamde muco-visco-elastische-aërodynamische theorie, volgens welke de elasticiteit van de stembanden mede tot stand komt door de bevochtigende slijmlaag. Door een grotere stembandsouplesse zou dan het Bernoulli-effect gemakkelijker optreden. Zonder die bevochtiging zou aanzuiging niet in glottissluiting resulteren, zodat de stembandtrilling niet op gang komt noch wordt onderhouden.

Om het Bernoulli-effect beter te kunnen begrijpen, verdienen de eigenschappen van de subglottische ruimte de aandacht. Het maakt enig verschil of de subglottis van een overledene of van een levende wordt bestudeerd. Door de tweezijdige stembandparalyse van een overledene is de contour van de subglottische ruimte vlakker dan bij levende personen, waarbij in de levende situatie sprake is van een soort straalpijp waarvan de wanden op doorsnede de vorm hebben van een exponentiële curve (Fink, 1959). Hierdoor ontstaan optimale stroomcondities gedurende de ademhaling en de fonatie. Bovenaan deze 'exponentieel' gebogen vlakken ontstaat door de stembanden een mondstuk. Hier vindt een trans-

formatie plaats: grote drukken en kleine stroomvolumina worden omgevormd tot kleine drukken en grote stroomvolumina en het Bernoulli-effect kan nu optreden. Subglottisch is de luchtstroom laminair. Er is een positieve druk op de tracheawand. In en direct boven de glottis verandert deze positieve druk in een negatieve druk op de wand waardoor aanzuiging van de stembanden ontstaat. Boven de glottis wordt de luchtstroom turbulent (fig. 7).

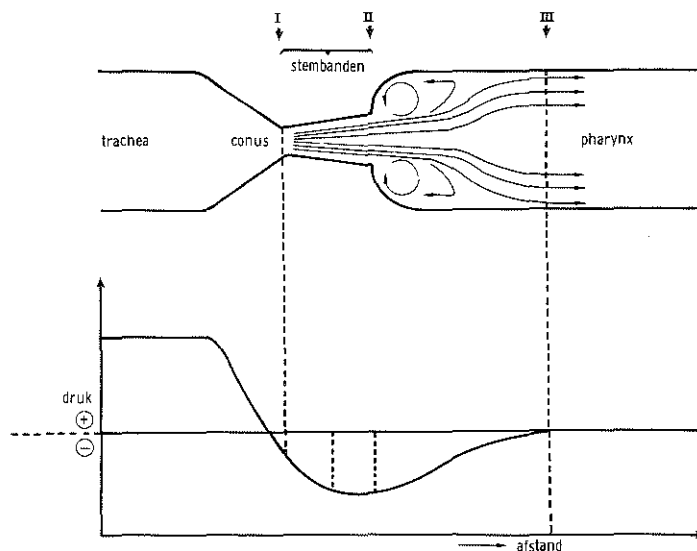


Fig. 7

Luchtstroom en overeenkomstig drukverval in de trachea, de glottis en het onderste deel van de pharynx. De figuur is uitgerekt om schematisch het drukverval, dat het Bernoulli-effect teweeg brengt, goed aan te geven. De turbulentie in de hypopharynx geeft een extra adductie in het bovenste stembandgedeelte. De negatieve druk zet zich voort tot de laminaire stroming hersteld is bij punt III.

(Veranderd naar Ishizaka en Matsudaira, 1972).

De stembandtrilling komt op gang. Dit ziet men ook bij de éénzijdige recurrens-paralyse, mits de andere stemband niet te ver van de verlamde zijde verwijderd is. Wanneer de gemiddelde druk over de gehele glottis nul is, kan men waarnemen, dat de stemplooien aangezogen worden in het craniale gedeelte van de glottis, waar de druk negatief is, terwijl zij in het caudale gedeelte van de glottis reeds door de positieve druk uit elkaar worden gedreven. Dit verklaart het faseverschil in de opwaartse beweging van de stemplooien. Telkens stopt de inwaartse beweging op het moment dat de positieve druk wordt bereikt. De stembanden

worden dan weer van elkaar geblazen tot een zekere glottisdiameter, waarna de cyclus zich herhaalt (van den Berg e.a., 1957). Op het niveau van de glottis wordt de in de subglottische druk opgeslagen energie deels omgevormd tot akoestische energie. Deze conversie schijnt, althans zuiver fysisch gezien, weinig efficiënt te verlopen. Het merendeel van de energie verdwijnt in de vibratie van de stembanden en wel in de vorm van warmte. Volgens Winckel (1977) is de efficiëntie 0,02%.\*

De stand waarin de stembanden zich bij de stemgeving bevinden is afhankelijk van de spierbalans in en om de larynx en de mogelijkheden die de gewrichtjes toelaten. Bij een zekere instelling door de zogenaamde intrinsieke larynxmusculatuur met inbegrip van de m. cricothyreoideus is er ook een beïnvloeding mogelijk door de daarbuiten gelegen zogenaamde extralaryngeale musculatuur. Het zou van kortzichtigheid getuigen wanneer deze laatste groep onbesproken zou blijven. Vooral Sonninen (1956) en Zenker (1958, 1960) hebben de invloed van de extralaryngeale musculatuur bestudeerd in vivo en in vitro. Zenker heeft opnieuw het 'basismembraan' ('Grundmembran' = Tunica fibrosa) van Merkel geïntroduceerd (gecit. Zenker, 1958, blz. 271). Dit is een bindweefsel, structuur die als een ophangapparaat functioneert. De pharynxwand is daar het belangrijkste onderdeel van, met daarin opgenomen het tongbeen, de larynx en de trachea via de conus elasticus. Wanneer er ergens op dit basismembraan een trekkracht wordt uitgeoefend is dit in de verschillende onderdelen merkbaar. In de larynx kan dit aanleiding geven tot glottisverwijding of glottisvernaauwing. Ook kan een stembandontspanning optreden. Zenker spreekt van een 'Fernwirkung', Sonninen van een 'Rahmenfunktion'. Zo geeft een tractie aan de trachea, die in caudale richting plaatsvindt door de thorax- en diafragmamusculatuur, een spanningstoename in de conus elasticus en daardoor een glottisverwijding. Wordt de richting van deze trekkracht gewijzigd, dan kan door een naar voren kantelen van het cartilago cricoidea een stembandontspanning optreden en zelfs een glottissluiting ontstaan. Ook een craniaal gerichte trekkracht kan een glottisverwijding geven. Dit is het geval wanneer het hoofd naar achteren wordt gebogen. In meer zeldzame gevallen kan door draaiing van het tongbeen om een verticale as, zoals bij draaien van het hoofd, een glottisvernaauwing optreden. De larynx gedraagt zich als het ware als een spin in haar web. Bewegingen van het web laten de spin niet ongemoeid.

\* Volgens van den Berg (1956) is de glottisefficiëntie gelijk aan het quotient tussen akoestisch vermogen op glottisniveau en subglottisch vermogen.

Het is daarom in onderzoeken met proefpersonen van belang zich dit te realiseren. Fixatie van het hoofd kan de extralaryngeale invloed enigszins onderwerpen. Een volledige uitschakeling van de 'Rahmenfunktion' is gezien de functionele ophanging in een keten onmogelijk. Zo zal bij een toonhoogtestijging de extralaryngeale musculatuur, in synergisme met de m. cricothyreoideus, zorgen voor een actieve lengtetoeename en een dikte-afname van de stemplooien. De m. sternothyreoideus heeft daarin een dubbele functie: in het lage frequentiegebied van de stemomvang ontstaat er een stembandverkorting met daardoor een ontspanning, noodzakelijk in dit frequentiegebied; in het hoge frequentiebereik treedt er daarentegen een stembandverlenging op met een toename van de interne spanning in de stemplooi (Sonninen, 1956). Een ander voorbeeld is de werking van de m. thyropharyngeus. Deze werkt door symmetrische compressie van de schildkraakbeenplaten - mits deze niet verkalkt zijn in hun gebied van samenkomst - een glottisverkleining in de hand. Daarbij kan het ringkraakbeen vanuit de articulatie met de schildkraakbeenplaten naar voor-onder geperst worden. Hierdoor treedt er tevens een stembandverkorting op met een stembandontspanning en dientengevolge een verdikking van de stemplooi. Compressie van de platen van het schildkraakbeen, zonder verandering van de positie van het ringkraakbeen, geeft een stembandverlenging en een stemplooi-versmalling. Beperkt men zich tot de intralaryngeale spiertjes, inclusief de m. cricothyreoideus, dan zijn er nog enkele facetten die bij de bovengenoemde balans een rol spelen. Zo zorgen de Mm. interarytenoideus en cricoarytenoideus lateralis voor een zogenaamde 'mediale compressie'. Zij sluiten het kraakbenige gedeelte van de glottis aan de achterzijde. In de normale stemgeving is er dikwijls enige lekkage wanneer de glottisafsluiting in het achterste gebied niet geheel volledig is. De m. cricoarytenoideus lateralis adduceert de stemplooi door de mediane verplaatsing van de processus vocalis cartilaginis arytenoideae. De grootste massa van de stemplooi wordt hierdoor naar de middellijn gebracht, daarin gesteund door de m. thyroarytenoideus lateralis, de laterale partij van de m. vocalis. Door contractie van de m. cricoarytenoideus lateralis kan tevens het arytenoid naar voren en ontspant zich de conus elasticus, waardoor de stemplooi in geadduceerde toestand vrij kan trillen (Smith, 1964). De bovenrand van de conus elasticus is immers het ligamentum vocale van de stembandplooi. Het resultaat is een ongehinderde stembandvibratie en een toonsverhoging bij een afname van de glottislengte. Contractie van de m. cricothyreoideus bij een praktisch gesloten glottis brengt behalve verlenging en strekking ook een abductie van de stemplooien teweeg. De hierdoor opgetreden afname in mediale compressie zorgt door afname van de glottisweerstand en verlies aan

subglottische druk voor verlaging van de toon, tenzij er een compensatie optreedt. Dit geschiedt doordat de m. interarytenoideus en elementen van de extralaryngeale spiergroep in het hoogste toonbereik contraheren. Een frequentieafname treedt dan niet op door een extra plaatsvindende mediale compressie (Hirano, 1970). Een actieve tonusverhoging ontstaat door contractie van de m. vocalis. Daarbij zou, indien de m. cricothyreoideus niet tegelijk zou contraheren de glottislengte afnemen. Aanspanning bij een bijna gesloten glottisstand veroorzaakt abductie met vermindering van de mediale compressie en toonsverlaging. De glottis wordt passief gestrekt of verlengd door contractie van de m. cricothyreoideus. Ook delen van de extra-laryngeale musculatuur, namelijk de Mmgeniohyoidei, komen gelijktijdig met de strekking van de halswervelkolom bij het zingen van hoge tonen in actie om de stembanden maximaal te strekken en de contractie van de Mm. vocales te compenseren. De ligamenta vocalia vangen 80 % van de totale rekkracht, wanneer de Mm. vocales niet gecontraheerd zijn, op (Tan, 1960). Actieve spanningsverhoging en lengtetoeename in de passieve structuren geven frequentieveranderingen van de stembandtrilling volgens de volgende formule:

$$f_o = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{D}{m}}$$

$f_o$  = de eigenfrequentie van het trillend systeem in Hz

$D$  = de bindingssterkte of effectieve stijfheid van de stemband in N/m

$m$  = de massa van de stemplooi in grammen.

De afgeleide formule is:

$$f_o = C \sqrt{\frac{\alpha}{m}} \quad (1)$$

$f_o$  = de grondfrequentie van de stemband in Hz

$\alpha$  = de spanning in de stemband in  $N/m^2$

$C$  = een constante, die o.a. de snaarlengte, die in de noemer staat, bevat

$m$  = de massa van de stemplooi in grammen.

De grondfrequentie neemt toe wanneer de spanning in de stemband toeneemt of de stembandmassa afneemt. Wordt de stemplooi verlengd dan worden volgens Sonninen e.a. (1972) de eigenschappen van een trillende snaar benaderd. Neemt evenwel de snaarlengte toe dan neemt de grondfrequentie af. Dit vereist een compensatie in effectieve spanning binnen de stemband of in massaverandering. Bovendien is de stembandtrilling niet geheel gelijk aan een trillende snaar, omdat er door een demping een verminderde bewegingsvrijheid is.

Over het langer worden van de stembanden bij het toenemen van de frequentie bestaat geen onzekerheid (Damsté, 1968). Evenwel is er onduidelijkheid over de mate waarin de toename plaatsvindt. Volgens van den Berg (1960): 30 %, Damsté (1968): 20 % en volgens Koike (1974) bij honden: 9 %. De lengtetoeename is ook niet gelijkmatig en gaat in het lage frequentiegebied sneller dan in het hogere frequentiegebied (Hollien, 1971). Boven een bepaalde lengte moet de m. vocalis ontspannen zijn om verdere stembandlengtetoeename mogelijk te maken en om daarmee een maximale passieve spanning in het ligamentum vocale te krijgen, waardoor een maximale toonhoogte wordt bereikt. Door de omgekeerde evenredigheid tussen grondfrequentie en stembandlengte zegt de lengtemaat niet zo veel. Voor een praktische toepassing wordt daarom gewerkt met formule (2).

Bij de fonatie bestaat er een bepaalde regelstand van de larynxspiertjes ten opzichte van de passieve spanningen van de visco-elastische componenten. Hierbij behoren bepaalde voorwaarden, te stellen aan de luchtstroom. Al deze instellingen zijn door stemoefening ten opzichte van elkaar te wijzigen. Hieruit volgen een aantal mogelijke instellingen, waarvan de classificatie in groepen registers besproken zal worden op blz. 23.

Volgens verschillende onderzoekers (Hast, 1975; Wyke, 1976) is het instellen van de verschillende componenten op elkaar een langzaam mechanisme, dat geregeld wordt door myotatische strek- en rekreflexen met een reflexboog via de hersenstam. Het systeem loopt niet synchroon met de grondfrequentie van de stembandtrilling en heeft met de verlaten theorie van Husson niets te maken. De onderzoeken van Wyke (1974, a - b) zouden door een groot aantal neurofysiologische, electromyografische en histologische onderzoeken van andere auteurs (o.a. Faaborg-Andersen, 1957; Hirano, 1970) gesteund worden, welke onderzoeken vaak wel met een ander oogmerk waren verricht. In de opvattingen van Wyke vindt men elementen van de aërodynamische en de neurochronaxie-theorie terug. Volgens Wyke bevinden zich in de spieren, welke tot de intrinsieke larynx-musculatuur behoren, in de mucosa van de subglottische ruimte en in de intercartilagineuze gewrichtjes gevoelige mechanoreceptoren, reagerend op druk, spanning en rek. Zij zijn ingeschakeld in een reflexsysteem, dat na de gewilde, bewuste instelling vlak vóór het foneren, de geluidsemissie onbewust gaande

houdt. Deze mechanoreceptoren met hun daarbij behorend regelcircuit worden vanaf de vroege jeugd getraind in deze onbewuste besturing van de larynx-musculatuur.

Elektromyografische (EMG) studies toonden aan, dat even vóór de fonatie er een zogenaamde pre-fonatoire-afstemming ('tuning') optreedt, waarvan de fijnere regeling tijdens de fonatie door middel van de genoemde mechanoreceptoren reflexmatig plaatsvindt.

Bijsturing door terugkoppeling via het gehoor ('acoustic monitoring') is wel van belang, doch lijkt van minder betekenis dan eerder werd verondersteld (Wyke, 1976). De theorie van Wyke samenvattend, werken dus deze receptorsystemen in onderlinge samenhang in een reflexboog over de hersenstam als het stuurmechanisme, dat de positie en de verplaatsing van de stemband alsmede de spanning in de larynxmusculatuur bepaalt.

### 1.3.3 Koppeling

Drie factoren bepalen de stemvorming, namelijk het systeem van de subglottische ruimten (trachea, bronchi en alveoli), waarin druk wordt opgebouwd, de larynx als generator en de supraglottische ruimten als resonator (van den Berg, 1970). Dit drietal functioneert als een eenheid en is akoestisch aan elkaar gekoppeld op een wijze, welke hierna is beschreven.

Zowel de subglottische als de supraglottische ruimte heeft bepaalde resonantiefrequenties. Voor het subglottische systeem liggen deze ongeveer vast, aangezien de trachea en bronchi minder in vorm en grootte variëren dan de supraglottische ruimte, ook wel het aanzetstuk genoemd. Van den Berg (1964) geeft hiervoor 300, 900 en 1500 Hz op. Het aanzetstuk heeft echter een aantal specifieke resonantiefrequenties, formanten\* genoemd, welke de kleur van de vocalen bepalen. De glottis scheidt het aanzetstuk van de subglottische ruimte. Deze scheiding wordt opgeheven door het openen van de stemspleet tijdens de fonatie. Bij een open glottis beïnvloedt de subglottische ruimte het aanzetstuk meer dan omgekeerd. Hierin spelen de vlakke bovenzijde van de stemplooiën en de venturibuis-achtige bouw van de conus elasticus een rol (Fink, 1959, 1975).

De gedachtengang achter deze beïnvloeding is de volgende: door de resonantie in de subglottische holtes verandert de subglottische druk en deze bepaalt op zijn beurt de wijze van stembandvibratie. Komt men in de omgeving van een resonantiefrequentie dan ontstaan er veranderingen in de regelmatige stembandtrillingen. Nabij deze resonantiefrequentie neemt de subglottische druk toe bij een constante volumesnelheid van de lucht. Deze bepaalt het Bernoulli-effect. De grote drukvariaties gaan echter storend op de volumesnelheid van de

\* De term 'formant' wordt hier alleen gebruikt voor de resonantiepieken in het aanzetstuk.



lucht en daarmee op de voortgebrachte toon werken. Een methode om problemen, welke rond zo'n resonantiefrequentie ontstaan dan te vermijden, is het kiezen van een ander register. De subglottische resonantie bij 300 Hz kan voor een proefpersoon aanleiding zijn een ander stemregister te kiezen. Eveneens zou dit het geval kunnen zijn bij 450 Hz.

De formantvorming, die zich afspeelt in de supraglottische ruimte heeft weinig invloed op de subglottische druk. Wel hebben subglottische resonanties bij een open stemspleet enig effect op de supraglottische ruimte en zijn als zodanig wel van invloed.

Naast de koppeling in verticale zin is er ook een koppeling in horizontale zin: van de ene stemband op de andere. Dit wordt zonder meer duidelijk in pathologische omstandigheden, zoals een eenzijdige stembandverlamming. Er ontstaan faseverschillen tussen de bewegingen van rechter- en linker stemband, welke waarschijnlijk berusten op onderlinge tonus- en massaveranderingen in de verlamde stemband. Zij kunnen soms  $180^\circ$  bedragen, d.w.z. de beide stembanden ziet men dan naar dezelfde zijde bewegen. Deze faseverschillen behoeven niet de gehele stemband te betreffen. Naast spannings- en massaveranderingen spelen ook larynxasymmetrieën een rol. Deze betreffen vaker de lamina thyreoidea dan de structuur van het cricoïd, de arytenoiden en de aanhechting in de voorste commissuur. Vreemd genoeg foneert bij de larynxproeven een 'scheve larynx' soms mooier dan een op het oog symmetrische larynx.

#### 1.3.4 Registers

Het begrip registers is afkomstig uit de orgelbouw. Het orgel kent reeksen pijpen van gelijke bouw, welke tonen met een overeenkomstig timbre produceren. Bij het orgel is de keuze aan registers groot. Bij de larynx is het aantal registers kleiner dan bij het orgel; in het algemeen onderscheidt men twee tot vijf registers. Een register is dan een groep tonen, die dezelfde klankkleur hebben en/of op eenzelfde mechanische of elektronische wijze ontstaan.

Van den Berg (1968) beschrijft de registers vanuit de wetmatigheden gevonden bij de proeven met geëxcideerde larynxen. Hij beschouwt een register als een bepaalde balansverdeling tussen de antagonistisch gerichte actieve spanningen in de m. vocalis en de passieve spanningen in het ligamentum vocale. Toonhoogte en geluidskwaliteit bepalen een register.

Hirano e.a. (1970 en 1974a) hebben eveneens het probleem van de registers onderzocht en wel met behulp van de elektromyografie. Hij definieert de registers niet. Met welk register men te maken heeft, wordt afgeleid uit de toonhoogte, de klankkleur en de informatie van de zanger zelf. De spieren, welke

elektromyografisch werden onderzocht, waren de m. vocalis, de m. cricoarytenoideus lateralis, de m. interarytenoideus en de m. cricothyreoideus.

Van Deinse (1974) onderscheidt bij de man het borstregister en het falsetregister. Bij de vrouw een borstregister en een kopregister, vaak een klein register en soms een fluitregister (dus geen falsetregister). Zijn belangstelling betreft voornamelijk de regulatie van de overgang van het borstregister naar het 'falsetto'. Deze overgang mag bij een geoefend zanger niet hoorbaar zijn, hetgeen kan worden bereikt door het zogenaamde dekken van de stem (covering of the voice, voce coperta, voix couverte, singen mit gedeckter Stimme). Nu mag de m. cricothyreoideus normaliter geen activiteit ontplooiën bij de overgang van borst- naar falsetregister. Gebeurt dit wel, dan is er sprake van het zogenaamde 'dekken' van de stem. Bij het dekken kunnen de hoge tonen gemakkelijker worden geproduceerd. Het dekken komt verder voor bij de man in de hoogste tonen van het kopregister. Van Deinse heeft getracht dit elektromyografisch te demonstreren bij proefpersonen. Volgens hem zijn in het falsetregister alle larynxspiertjes inclusief de m. cricothyreoideus ontspannen. Hij staat in deze opvatting echter vrijwel alleen.

Hollien (1974) definieert een vocaal register als een serie of rij van in openvolging gefoneerde frequenties, die met een bijna identieke klankkwaliteit kunnen worden geproduceerd. Gewoonlijk mag er tussen twee aangrenzende registers géén overlapping tussen de grondfrequenties ( $f_0$ ) bestaan. Een stemregister is een volledig door de larynx bepaald fenomeen. Veel karakteristieken, die zangers met de term register identificeren, zijn afkomstig uit de supraglottische resonantieruimten. Hollien onderscheidt 3 registers, te weten de 'vocal fry' of 'pulse register' (onder 70 Hz). Verder het borstregister ('modal register') en het falsetto register ('loft register'). De vocal fry valt buiten het in dit proefschrift beschreven onderzoek, zodat men volgens Hollien feitelijk met 2 registers te maken heeft. De discussie hierover is te vinden in hoofdstuk 6.

Van den Berg (1968) maakte een onderscheid tussen een borstregister en een falsetregister. Deze kunnen via een overgangs- of middenregister (mid-voice) zonder onderbreking in elkaar overgaan. In het borstregister is de toonhoogte laag. De m. vocalis is dan aangespannen waardoor een configuratie van de stemplooi ontstaat, welke een groot horizontaal en verticaal faseverschil geeft, zodat er in de trillingscyclus een lange sluitingsfase is. Hierdoor passeert lucht in aparte luchtstootjes, welke bij bestudering van het frequentiespectrum van het akoestisch signaal rijk aan boventonen blijken te zijn. De 'luchtexplosies' verlaten de resonantieruimten met een rijk spectrum

aan boventonen, dat vooral door de zanger in de borstregio wordt gevoeld. In het falsetregister is een hoge spanning in de stembanden vereist, welke niet anders kan worden bereikt dan door de Mm. vocales uit te schakelen (de actieve aanspanning) en de stembanden slechts passief te strekken door de actie van de m. cricothyreoideus. Immers zijn de Mm. vocales aangespannen dan zou de glottislengte afnemen en dit constateert men niet bij de hoge frequenties (zie blz. 21). De passieve rek komt grotendeels op rekening van de ligamenta vocalia. De lengtetoe name, gemeten door van den Berg (1959b) bij geëxcideerde larynxen, is ongeveer 30 %. Hierboven kan de trekkracht aan het ligament toenemen zonder de absolute lengte daarvan te doen toenemen. Op deze wijze is de interne passieve spanning nog verder op te voeren voor de hoogst bereikbare tonen. De luchtstroom, welke in het falsetregister door de smalle, strak gespannen glottis stroomt, wordt sinusvormig gevarieerd. Een frequentie-analyse van deze primaire glottistoon levert een grondtoon op met een kleine hoeveelheid boventonen. Dit spectrum wordt in het hoofd gevoeld. De term falsetto is hier synoniem met het kopregister bij van Deinse. De overgang van borstregister naar falsetto bij een opklimmende toonreeks ligt op ongeveer 300 Hz. Dit is volgens van den Berg (1968) de eerste resonantiefrequentie van het subglottische systeem (trachea en longen). Van hoog naar laag gaande echter ligt deze overgang op 150 Hz waarbij de subharmonische dus samenvalt met de resonantiefrequentie van het subglottische systeem. Zingt men bijvoorbeeld een vocaal aa / a:/ van hoog naar laag, dan is bij 300 Hz de stembandrand nog zo stijf gespannen, dat het subglottische systeem nog niet aanspreekt (hysterese effect). De tweede resonantiepiek van het subglottische systeem ligt bij 900 Hz. De stembanden verkeren nu in zo'n grote spannings-toestand, dat deze resonantie geen invloed heeft op de stembandtrillingen. Hier zijn dan ook geen registerovergangsproblemen van betekenis. Tussen het borst- en het falsetregister is er een groot verschil van instelling. Het middenregister (van den Berg, 1968) is een soort overgangssituatie, waarin een evenwicht bestaat tussen het borst- en het falsetregister. De stemkwaliteit heeft een gemengd karakter. Of de overgangen naar het middenregister hoorbaar zijn hangt af van de mate waarin een stem is getraind. Geleidelijke registerovergangen zijn normaal voor een getrainde stem. Ze worden bij voorkeur niet duidelijk hoorbaar vertolkt. De stembanden houden in het middenregister wat de dikte betreft het midden tussen de toestand in het borst- en het falsetregister. De gesloten fase van de vibratie duurt kort. De frequentie-analyse van het akoestisch signaal geeft een aantal boventonen te zien,

dat het midden houdt tussen dat in het borst- en in het falsetregister.

Hirano (1970) onderscheidt bij de man een borst-, een kop- en een falsetregister. Bij de vrouw bestaat alleen een middenregister en een lichte kopstem. Uit zijn EMG-proeven blijkt, dat de m. cricothyreoideus géén systematische en noemenswaardige rol speelt in de registerovergangen. Deze spier kan echter de m. vocalis wel antagonistisch beïnvloeden. De registerveranderingen worden hoofdzakelijk door de m. vocalis bepaald en in mindere mate door de Mm. cricoarytenoideus lateralis en interarytenoideus, dus de adductoren. De activiteit van de m. vocalis neemt naar het falsetregister toe af. Hirano's bevindingen stemmen overeen met die van Faaborg-Andersen e.a. (1967) en Vennard (1967). De lange gesloten fase in het borstregister en de bijbehorende dikke contour van de stemlooi ontstaan hoofdzakelijk door de m. vocalis-activiteit, daarin geholpen door de beide andere adductoren. De mate van contractie van de m. vocalis wordt mede bepaald door de m. cricothyreoideus, welke verder slechts een toonhoogteregelaar is, maar niet de registerkeuze uitmaakt. Er bestaat een ingewikkeld samenspel tussen register, toonhoogte en intensiteit van de stem.

#### 1.4 De elektroglottografie

Synoniemen: Glottografie (Fabre, 1957)

Laryngografie (Fourcin, 1968)

##### 1.4.1 Principe:

Tussen twee aan elke zijde symmetrisch op de huid boven het schildkraakbeen geplaatste elektroden ondervindt een hoogfrequente stroom een veranderende elektrische impedantie ten gevolge van larynxbewegingen. Deze impedantievariatie kan gebruikt worden om een spanning te moduleren, welke na demodulatie een weergave kan zijn van de stembandtrilling en de wijze waarop deze trilling verloopt. Afhankelijk van de apparatuur wordt de spanning in amplitude of fase gemoduleerd. Fabre zelf, die in 1957 de elektroglottografie introduceerde, beschreef de geregistreerde golfvorm als het resultaat van een door de uit elkaar wijkende stembanden optredende capacitatieve verandering. Door Fourcin (1971) wordt de uitgangsspanning beschouwd als het resultaat van de mate van stembandcontact tijdens de sluitingsfase van de stembandvibratie (Fourcin, 1971).

In tegenstelling tot de fotoglottografie (Sonesson, 1960), welke het inslikken van een fotocel vereist, is de elektroglottografie probleemloos voor de

proefpersoon. De hoogfrequente stroom is zwak (max. 10 mA bij 0,5V) en wordt niet gevoeld. Er wordt een draaggolf-signaal met een frequentie van bij voorbeeld 300 kHz gemoduleerd, wanneer de stembanden gaan trillen. Dit gemoduleerde hoogfrequente signaal wordt in de elektroglossograaf gedetecteerd, gefilterd met een 10 kHz (laag-doorlaat-) filter en vervolgens versterkt. Het resulterende signaal kan óf rechtstreeks óf na hoog-doorlaat-filtering aangeboden worden aan een oscilloscoop, taperecorder of schrijver. De elektroden zijn van zilver of koper. Bij dit onderzoek is het effectieve elektrodeoppervlak ongeveer  $2 \text{ cm}^2$  bij de proefpersoon en bij het geïsoleerde larynxapparaat. De apparatuur wordt geleverd met rechthoekige, vlakke elektroden. In dit onderzoek worden licht gekromde, ronde elektroden gebruikt, waardoor een beter contact tot stand komt. Essentieel is, dat de elektrode niet te zwaar is, zodat hij enigszins kan meeschuiven tijdens het op en neer gaan van de larynx. Anderzijds mag het oppervlak niet te klein zijn, omdat anders niet diep genoeg in het weefsel kan worden gemeten.

De impedantieveranderingen, welke ontstaan, zijn in drie delen te splitsen:

1. De impedantieverschillen aan de hals. Veranderingen in de contactweerstand worden hoofdzakelijk te weeg gebracht door wijzigingen in de vochtigheid van de huid ter plaatse van de elektroden. Dit probleem wordt deels ondervangen door het gebruik van elektrodenpasta. Bij dezelfde proefpersoon kan de weerstand een factor 4 variëren (Fourcin, 1974), enerzijds ten gevolge van de wisselende larynxpositie, welke plaatsvindt wanneer de proefpersoon zijn stemniveau instelt en regelt, anderzijds ten gevolge van een veranderend elektrode-huid-contact. De meestal gebruikte apparatuur is gevoelig tussen 30 en 300 Ohm. Is de elektrode-impedantie groter, dan is er sprake van een slechte contactweerstand met de huid. Is de weerstand daarentegen kleiner dan 30 Ohm, dan kan dit veroorzaakt worden door een overmatig gebruik van elektrodenpasta of door een grote mate van huidvochtigheid waardoor kortsluiting optreedt.

2. De impedantieveranderingen door wijziging van de hals tijdens fonatie. Bij het stijgen van de grondfrequentie van de toon gaat de larynx omhoog. Vooral bij de kleinere vrouwenlarynx en een dikke hals kan dit de signaal-ruisverhouding aanzienlijk verslechteren. Door het hoofd te fixeren in een onderzoekstoel kan de beweging van de larynx minimaal worden gehouden. Bij het voortbrengen van klinkers, welke achter in de mond gevormd worden, gaat de tong naar achteren en de larynx iets naar beneden. Door wisselende drukken in het aanzetstuk verandert de vorm van de pharynx en de larynx, vooral bij het maken van de medeklinkers p, t, k, b, d en g. Hierdoor neemt de invloed van kortsluiting van de stroom af doordat de omgevende weefsels in hoeveelheid afnemen, waardoor de weerstand stijgt.

Veranderingen in de smering en de bevochtiging van de pharynx, de larynx en de glottis in het bijzonder zullen ook meespelen in de complexe impedantie van het systeem, omdat lucht en membranen een grote weerstand hebben. Vetweefsel heeft een zeer hoge soortgelijke weerstand: 1800 Ohm cm. Voor de spiercel is het gemiddelde 400 Ohm cm (Nyboer, 1970). Wijziging in de onderlinge verhouding heeft consequenties voor de parallel geschakelde impedantie van huid, vetweefsel en spierweefsel ventraal aan de hals en voor de in serie geschakelde weerstand van vetweefsel en spierweefsel tussen de elektrode en de lamina thyreoidea met de daarachter gelegen glottis. Een dikke hals geeft een minder goede signaal-ruisverhouding.

3. De impedantievariatie, welke men verkrijgt door de laagste frequenties van het gemoduleerde signaal uit te filteren. Men houdt dan een stabielere signaal over, dat afkomstig is van de echte glottisimpedantie. Dit signaal maakt 1 % uit van de totale impedantievariatie bij de levende proefpersoon.

Naar deze impedantieverandering, die ook wel het fonatorisch elektroglottogram wordt genoemd, gaat speciaal de interesse bij dit onderzoek uit.

#### 1.4.2. Historisch overzicht

In het begin van de jaren dertig verrichtten Trendelenburg en Wullstein (1935) proeven men een uitgesneden menselijke larynx. Zij brachten een gelijkspanning aan tussen de stembanden en een klein koperen plaatje dat op korte afstand van de stemband was bevestigd. Na aandrijven met lucht werd een beweging verkregen van de stembandmassa, welke elektrisch werd geregistreerd. Er was op deze wijze een condensatorsysteem gecreëerd, waarvan de capacitatieve veranderingen gebruikt konden worden voor een analyse van de snelle stembandbeweging.

Bürger (1967) suggereert dat Fabre uit Lille, de eerste die de elektroglottografie toepaste, hiervan op de hoogte is geweest en naar analogie daarvan de elektroglottografie ontwikkeld heeft. Fabre zelf vermeldt in zijn eerste publicatie over elektroglottografie (1957) geïnspireerd te zijn geweest door zijn pols- en arteriële drukstudies: de sphygmografie, in de jaren 1939 en 1940. Tegenwoordig wordt deze techniek elektrorheometrie genoemd (Markovich, 1970). De elektroglottograaf van Fabre maakt gebruik van het condensatorprincipe van de larynx op glottisniveau. De hoogfrequente stroom van 150 kHz (Fabre, 1957) of 200 kHz (Fabre, 1961) ondervindt in de larynx een complexe impedantie, waarvan de capaciteit het grootste deel voor haar rekening zou nemen. Dit idee wordt gesteund door de fransstalige auteurs, die na Fabre met een elektroglottograaf werkten: Gougerot (1960), Duvelleroy (1961), Striglioni (1963) en Chevrie-Muller (1964). Aan de hand van het microfoonsignaal werd de top van de curve gedefinieerd als de sluiting en het

dal als de opening van de stembandtrilling. De grondfrequentie van het elektroglottogram kwam overeen met de grondfrequentie van het microfoonsignaal (Fabre, 1957).

In verband met de discussie rond Husson's theorie wijdde men zijn aandacht aan het aspect van de continu-curve. Door een continu-registratie van de elektroglottogrammen komt de nadruk te liggen op de regulariteit van de op elkander volgende complexen en hun onderlinge amplitudeverhoudingen (Striglioni, 1963; Chevré-Muller en Dordain, 1968).

Opmerkelijk is de mededeling van Decroix (1958), dat het elektroglottogram verschilt afhankelijk van de groep fonemen, welke getest worden. Zo worden overeenkomstige curven gevonden voor de groep /a:/, /o/y/ en voor /i/, /ε/. Dit wordt eveneens vermeld door Oreskovič (1962). Dit onderscheid in elektroglottogramvorm bij de diverse klinkers werd betwijfeld door Gougerot (1960). In recentere mededelingen (Holm, 1969) en in onze eigen publicatie (1975) wordt deze twijfel bevestigd. Omtrent de betekenis van de enkele curve meldde Fabre (1957) verder de indruk te hebben dat de stembanden zich alleen in een horizontaal vlak sloten. Dit zou dan geschieden met een faseverschil van voor naar achteren. De sluiting van de stembanden zou beginnen bij de voorste commissuur. Over een eventueel vertikaal moment in de beweging werd nauwelijks gesproken. Ook in de zeer uitvoerige studie van Striglioni (1963) werden de bewegingspatronen voornamelijk geïnterpreteerd als bestaan zij slechts in het horizontale vlak. Hoewel hier een grote mate van waarheid in zit, is het waarschijnlijk een te sterke simplificatie. Bij één type stembandfunctie kan deze gedachtengang wel passen, te weten de falsetstem. Hierbij is het contact tussen linker en rechter stemband zo gering, dat alles zich bijna in een horizontaal vlak afspeelt.

De eerste publicatie van Van Michel (1964) handelde over het elektroglottogram, dat periodische trillingen blijft vertonen nadat de geluidsproductie aan het einde van een vocaal reeds is weggefallen. Dit natrillende gedempte glottogramsignaal kan nog 47 perioden zichtbaar blijven. Van Michel zag dit alleen aan het einde van een periode van stemproductie ontstaan en nimmer aan het begin, zoals dat was medegedeeld door Sabouraud en Gremy (1958). Voor Van Michel was dit natrillen een bewijs van eigen activiteit van de m. thyreoarytenoideus. In 1965 deed deze auteur mededeling over een door hemzelf met Raskin gebouwde 'electroglottomètre'. Dit apparaat werkt met een draaggolf van 455 kHz. Het bandfilter omvat 40-5000 Hz. De voordelen van het apparaat worden uitgebreid genoemd, zoals lineariteit, calibratie per patient en praktische bruikbaarheid. In de loop van 1965 vermeldde Van Michel proefnemingen met F<sub>6</sub>S, een gas dat 5,03

keer zo zwaar is als lucht. Hij registreerde, onder overigens gelijke condities, de geproduceerde elektroglottogrammen. Er traden verschillen op in de absolute tijden: het gedeelte dat beschreven werd als sluiting (fermeture) en als nadering van de stembanden (rapprochement) week in absolute zin af, doch bleek bij quotientberekening zoals in dit proefschrift nog wordt beschreven, niet te verschillen. De conclusie van Van Michel (1965b) was, dat het zware gas de werking van de stembanden niet beïnvloedde. Dit kan alleen geschieden doordat de m. thyreoarytenoïdeus zijn werking behoudt door een actieve rol te spelen.

In 1966 werd door Van Michel de invloed van helium (He) bestudeerd op het elektroglottogram. Met een dichtheid van 0,178 ten opzichte van lucht gaf dit alleen amplitudeverschillen te zien in het glottogram. Nadere mededelingen over elektroglottografie worden er in deze publikatie niet gedaan.

Latere publikaties (1966b) gingen in op de problematiek uit zijn eerste artikel. In principe kwam zijn conclusie telkens overeen met de ideeën uit 1964. De neurogene theorie blijft gelden. In 1967 werd door Van Michel het normale elektroglottogram beschreven. De glottissluiting bleek te corresponderen met een plateau aan de basis van de curve. Hoe deze sluitingsdefinitie is ontstaan, is niet duidelijk. Het door Van Michel beschreven elektroglottogram is ten opzichte van de ons bekende curven zowel geïnverteerd als in spiegelbeeld genomen.

In 1967 werden door Van Michel een aantal fouten genoemd, welke bij het maken van een elektroglottogram een rol kunnen spelen. Drie ervan worden hier genoemd:

- Het microfooneffect: een storing van het elektroglottogram door het geluidssignaal.
- De slechte kwaliteit van de elektronica.
- Een niet ideale elektrodegrootte. Ideaal is volgens Van Michel een elektrode van 50-70 mm bij 5-10 mm met een plaatsing lateraal op de hals, waarbij elektrodenpasta wordt gebruikt ter vermindering van de huidimpedantie.

Vallancien (1958) publiceerde een vrij kritisch artikel met de volgende conclusies:

- Het elektroglottogram is vrij ongevoelig voor vocale veranderingen in tegenstelling tot het fonogram\*.
- Er is een verschil tussen de diverse frequentiebereiken. In het falsetgebied is het elektroglottogram een sinusoid.

\*Het fonogram is een registratie van het microfoonsignaal.



- Het top- en het dalgebied kunnen nog niet gedetermineerd worden.

Verder gaf Vallancien aan dat eventuele foutenbronnen kunnen bestaan in het microfooneffect en de weerstandvariaties ten gevolge van de beweging van de lamina thyreoidea: het zogenaamde 'effet laryngophonique'. In 1971 werkte Vallancien met een ander type elektroglottograaf en wel de 'laryngograph' van Fourcin en West uit Londen. Tezamen met het microfoonsignaal en het elektroglottogram werden de fotoglottografie en de subglottische druk (via een huid-opnemer) geregistreerd. De capaciteitstheorie werd verlaten en er werd gesproken over een impedantiemeting. De impedantie is minimaal bij gesloten stembanden. Vooral de vergelijkingen tussen fotocelweergave, elektroglottogram en akoestisch signaal zijn interessant. Het bleek nu, dat de stembanden, voordat de microfoonsignalen ontstaan, op de fotocelschrijver reeds aanslingeren, terwijl de elektroglottogramcurve nog geen activiteit vertoont. Aan het eind van de fonatie slingert het fotosignaal uit en wordt van karakteristiek asymmetrisch sinusoidaal. Het elektroglottogram is dan reeds stilgevallen. Er is dus wel een aan- en uitslingertijd van de stembanden, doch dit registreert men niet via het microfoonsignaal en ziet men niet volledig via het elektroglottogram. Wel komt zij in het curveverloop van de fotocelregistratie naar voren. Daarnaast werd door Vallancien de curve door middel van 'open' en 'dicht' gedefinieerd. Hoe de flanken van de curve geïnterpreteerd moeten worden deelde hij niet mede.

In 1968 kwam een mededeling uit Duitsland. Loebell (München) besprak zijn met de fysicus Balk in 1962 geconstrueerde apparatuur. Het hoog-doorlaat-filter snijdt op 50 Hz af en daardoor lijkt het signaal wat anders dan bij de Franse onderzoekers. Zijn curvedefinitie beantwoordt aan de huidige afspraken. Zijn aandacht was vooral gericht op de periodiciteit in de opeenvolgende curven. Duidelijke conclusies over bij voorbeeld standaardcurven en onderlinge curve-verhoudingen vindt men bij hem niet. Wel spreekt hij zich uit tegen Husson op grond van het feit, dat hij bij een tweezijdige recurrensparalyse een normaal elektroglottogram vond.

Uit de school van Loebell zijn twee dissertaties verschenen (Beck, 1967, Bürger, 1967). Deze laten geen verdere conclusies toe, omdat op grond van onze bevindingen (hoofdstuk drie) het gebruik van de juiste apparatuur betwijfeld kan worden. Ik wil hier dan ook niet verder ingaan op hun resultaten.

In 1972 maakte Reinsch uit Halle melding van een kwantitatieve indelingsmogelijkheid van het fonatorische elektroglottogram middels een relatief begrip: het openings- en sluitingsquotiënt. Hierin betrok hij de openingsquotiëntberekening van andere auteurs verricht met andere technieken (Zie blz. 77). Mede door het contact met Reinsch werd tot een overeenkomstige opzet van onze bere-

keningen besloten. Hierin zal in hoofdstuk zes (6.1 en 6.2) verder op worden ingegaan.

Frøkjær-Jensen uit Denemarken leverde een belangrijk aandeel in het elektrolottografisch onderzoek door de bouw van technisch goede elektrolottografen. Daarnaast werden door hem vooral toepassingsmogelijkheden van de elektrolottograaf in de fonetiek besproken. Zijn zeer waardevolle technische opmerkingen waren voor dit onderzoek van groot belang, vooral bij de opzet van het elektrisch model van de larynx.

Fourcin (1971, 1974) uit Londen, introduceerde een elektrolottograaf, de 'laryngograph' met een speciale ringelektrode (guard ring) als derde elektrode welke het voordeel heeft, dat de glottisimpedantie beter wordt gedetecteerd. De elektrode focust als het ware de stroom door het diepere halsgebied en geeft daardoor naast een betere signaal-ruisverhouding ook een betere weergave van de stembandimpedantie (40 dB). Hierdoor zijn ook kinderen te meten. Fourcin (1974) kwam tot bepaalde conclusies omtrent elektrolottogramrelaties en de wijidte van de glottispleet, o.a. op grond van stroboscopisch onderzoek bij de normale proefpersoon. Zijn lottograaf wordt bij het spraakonderricht aan kinderen vooral bij intonatie-oefeningen gebruikt.

## 1.5 Vraagstelling

Uit de bestudering van de literatuur kwam geen afdoende verklaring naar voren van de impedantieveranderingen, welke aanleiding gaven tot het elektrolottogram. Tevens handelden verschillende artikelen over de betekenis van het elektrolottogram bij de patient zonder echter een aanvaardbare verklaring te geven van het normale elektrolottogram.

Derhalve werd de vraagstelling van dit proefschrift: wat is het verband tussen het elektrolottogram en de snelle stembandbeweging en wat is de betekenis van het elektrolottogram bij normale proefpersonen?

Bij het oplossen van deze vragen kwam een aantal problemen aan de orde, welke in de verdere hoofdstukken van dit proefschrift besproken zullen worden.

Een aantal bezwaren, dat bij het onderzoek op proefpersonen naar voren komt, zoals de betrekkelijk lastige toegankelijkheid van het strottenhoofd en de relatief korte fonatietijd kan vermeden worden door gebruik te maken van uitgesneden menselijke strottenhoofden. Het verband tussen elektrolottogram en stembandbeweging kan dan bij dergelijke in trilling gebrachte preparaten worden onderzocht.

De in de literatuur genoemde elektroglottografen verschillen wat betreft hun mogelijkheid tot detecteren van stembandbewegingen. Dit zal onderzocht worden door speciaal te letten op de plaatsing van de elektroden en de invloed van de toegepaste hoog-doorlaat-filters (hoofdstuk drie).

De relatie tussen de stembandbeweging bij het preparaat en het elektroglottogram zal worden gekwantificeerd, waarbij de mechanische eigenschappen van het preparaat zullen worden besproken (hoofdstuk vier).

Van een groep van zes proefpersonen zal het elektroglottogram bestudeerd en gekwantificeerd worden met betrekking tot de frequentie van de voortgebrachte toon. Hierin zal tevens de fonatie-intensiteit betrokken worden (hoofdstuk vijf).

## Hoofdstuk 2 DE OPSTELLING EN DE CONTROLEPROEVEN VAN HET LARYNXPREPARAAT

### 2.1. De opstelling van het larynxpreparaat

#### 2.1.1 Inleiding

Het larynxpreparaat werd reeds in 1741 in proeven gebruikt door Ferrein. Door Joh. Müller werden deze proeven herzien en verbeterd in 1837 (fig. 8).

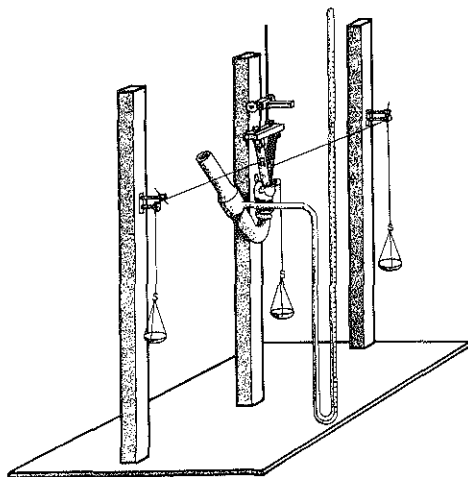


Fig. 8

Larynxpreparaatopstelling van Joh. Müller, 1837.  
Naar Gutzmann, 1928.

In 1935 verrichtten Trendelenburg en Trendelenburg proeven met geëxcideerde menselijke en kalflarynxen. In 1959 volgden de beschrijvingen van dergelijke proeven van Tan en van den Berg. Naar analogie van deze beschrijving is de eigen opstelling gebouwd. Hun belangrijkste conclusie is dat de beweging van de stembanden een aërodynamisch fenomeen is, dat bij het preparaat en de levende larynx op identieke wijze verloopt. Deze beweging is het gevolg van het Bernoulli-effect (Tan, 1960). Tan gaat in op de hiervoor noodzakelijke flow- en drukvoorwaarden. De intra- en extralaryngeale spieren spelen alleen een rol bij het instellen van de vorm en de spanning van de stembanden bij de regeling van de toonhoogte en de toonsprongen of registerovergangen. De meeste spier-

functies, met uitzondering van die van de m. vocalis, welke niet na te bootsen is, werden door Tan getimedeerd.

Om drie belangrijke redenen is gekozen voor het larynxpreparaat in een proefopstelling (fig. 9).

Ten eerste ontbreken een aantal omliggende structuren, waardoor een goed zicht op de stembanden wordt verkregen. Zeker bij het gebruik van stroboscopisch licht is een goede beeldvorming van de stembandbeweging een eerste vereiste.

Een tweede reden is de duur van de fonatietijd, dat is de tijd waarin de larynx zonder onderbreking kan foneren. Bij de geoefende proefpersoon is deze tijd voor een man maximaal 34,6 seconden en voor een vrouw 25,7 seconden (Hirano, 1968). Voor de gemiddelde normale proefpersoon liggen deze waarden vaak op 50% van deze tijd. Bij het preparaat in de beschreven opstelling is de fonatietijd veel langer. Een observatietijd van 10 minuten in een bepaalde instelling is geen probleem, mits aan de verschillende voorwaarden (zie dit hoofdstuk) wordt voldaan.

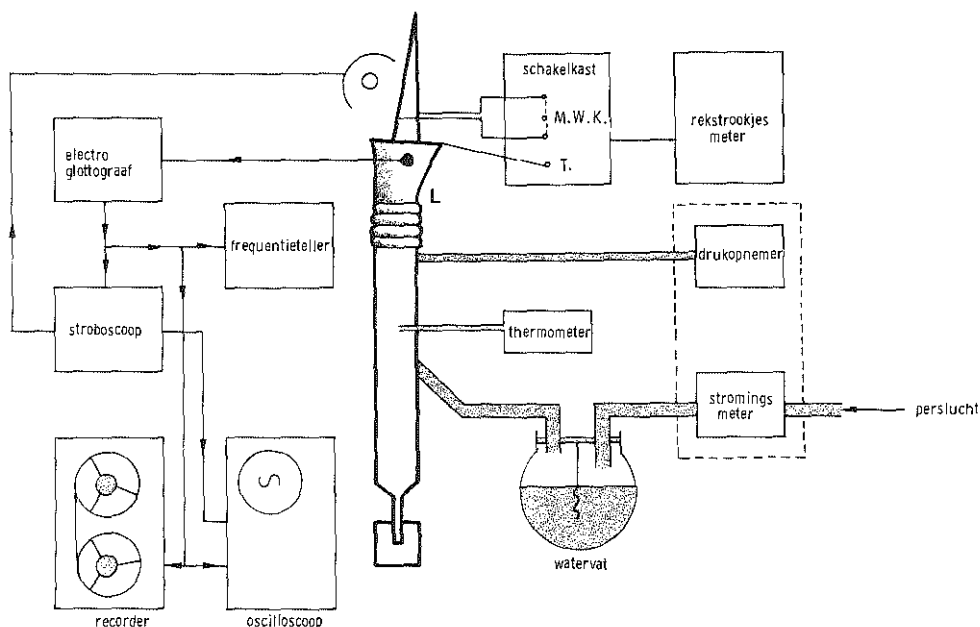


Fig. 9

Blokdigram van de opstelling met het larynxpreparaat (L).

Een derde voordeel van een preparaat boven het onderzoek bij een proefpersoon is de fixatiemogelijkheid van de elektroden. Zij kunnen op één plaats bevestigd worden en verschuiven niet tijdens de fonatie, hetgeen bij de proefpersonen op de hals wel het geval kan zijn ten gevolge van de bewegingen van de larynx bij een variërende toonhoogte.

#### 2.1.2 Het larynxpreparaat

In onze proeven werd gebruik gemaakt van menselijke strottenhoofden, verkregen via het pathologisch anatomisch laboratorium van de Erasmus Universiteit, Rotterdam. Het tijdstip van overlijden lag maximaal 72 uur vóór het moment van uitprepareren. Direct in aansluiting op het gereed maken van het preparaat werden de tests verricht. Het weefsel werd daartoe gedurende een half uur gelegd in een 3/4 N (65 %) zoutoplossing (zie Tan, 1960). Bij een langer verblijf van bijvoorbeeld 24 uur in deze zoutoplossing zwelt het preparaat enigszins op en wordt bleek. Er kan dan wel geluid geproduceerd worden, doch het elektroglottogram is anders dan bij gebruik direct na het prepareren. In een aparte beschrijving (blz. 53) zal in het kort worden ingegaan op veranderingen in de omgevingscondities.

Voor dit onderzoek maakten wij slechts gebruik van mannelijke larynxen, wegens hun betere fonatie-eigenschappen. Larynxen van patienten met een sondevoeding of een intubatie werden niet gebruikt in verband met de mogelijkheid van stembandletsel. Verder werden de larynxen steeds macroscopisch geïnspecteerd en slechts gebruikt als er geen zichtbare pathologie was.

#### 2.1.3 De preparatietechniek

De kraakbenige omhulling van de larynx wordt vrijgemaakt uit het verkregen weefsel met behoud van ongeveer 7 cm trachea voor bevestiging op een glazen buis. Van het overblijvende preparaat wordt de epiglottis weggenomen, waarbij erop wordt gelet, dat de voorste commissuur onbeschadigd blijft. Hierna worden de valse stembanden weggenomen, zodat de sinus Morgagni volledig te overzien is. Het arytenoid dient onbeschadigd te blijven om de beweeglijkheid van de processus vocalis niet te beïnvloeden. Ook de achterste commissuur en het aanhechtingsgebied van de stembanden moet onbeschadigd blijven. Op deze wijze wordt de geluidsproductie van het strottenhoofd niet beïnvloed. Het aldus verkregen

preparaat wordt gecontroleerd op luchtdichtheid van de wanden en vervolgens op een glazen buis geplaatst, welke gemodelleerd is naar de binnenzijde van de trachea. Er is keuze uit drie buisonttrekken. De trachea wordt over een voorgedefinieerde groeve op de buis vastgesnoerd. Ook hier mag geen lek aanwezig zijn. Bij de bevestiging op de buis moet er op gelet worden, dat de bovenzijde van de buis samenvalt met de eerste trachearing, daar bij een hogere uitmonding de functie van de straalpijpvormige conus elasticus wordt beïnvloed, waardoor de geluidsproductie kan veranderen. Deze beïnvloeding is waarschijnlijk zowel direct mechanisch als aërodynamisch.

Vervolgens wordt het cricoid met enige linnen hechtingen vastgezet aan een licht concave kunststofplaat, welke vast zit aan een laboratoriumstandaard. De draden lopen hierbij door de m. cricoarytenoideus posterior. Op deze wijze zijn de trachea en het cricoid voldoende gefixeerd. Er is nu ruim zicht op de stembandoppervlakken. Hierna worden de arytenoiden tezamen gebracht met behulp van een pincetconstructie. Om de achterste commissuur van de larynx ook voldoende af te sluiten wordt een draad door de achterbovenzijde van de plicae aryepiglotticae getrokken. Dit heeft geen invloed op de mediaanwaartse kracht.

#### 2.1.4 Pincetconstructie

In fig. 10 is de gebruikte constructie afgebeeld.

Er worden verschillende delen aan het pincet onderscheiden.

- 1 - De benen van het pincet, welke de arytenoiden adduceren en abduceren.
- 2 - Het isolatieblok, dat de benen onderling moet isoleren, aangezien dit anders invloed heeft op de te meten impedantie.
- 3 - De aangepaste voetjes, klampjes van messing, welke aan de open zijde een open hoek van  $90^{\circ}$  hebben, waarmee ze het arytenoid aan de buitenzijde omvatten. Hiermee wordt het afglijden van het arytenoid uit de ingestelde stand voorkomen, hetgeen kan geschieden bij tractie (T) aan de thyreoidhoek. Bij deze tractie wordt de kracht ontbonden langs de kraakbeenplaten van het thyreoid. Hieraan zit de m. vocalis vast, welke bij de tractie dunner zal worden en zich wil vlijen tegen de kraakbeenplaat. Dit heeft een laterale beweging van het daaraan vastzittende arytenoid tot gevolg. De processus vocalis zal weg willen glippen uit de pincetvoeten, hetgeen door de klampjes wordt voorkomen.

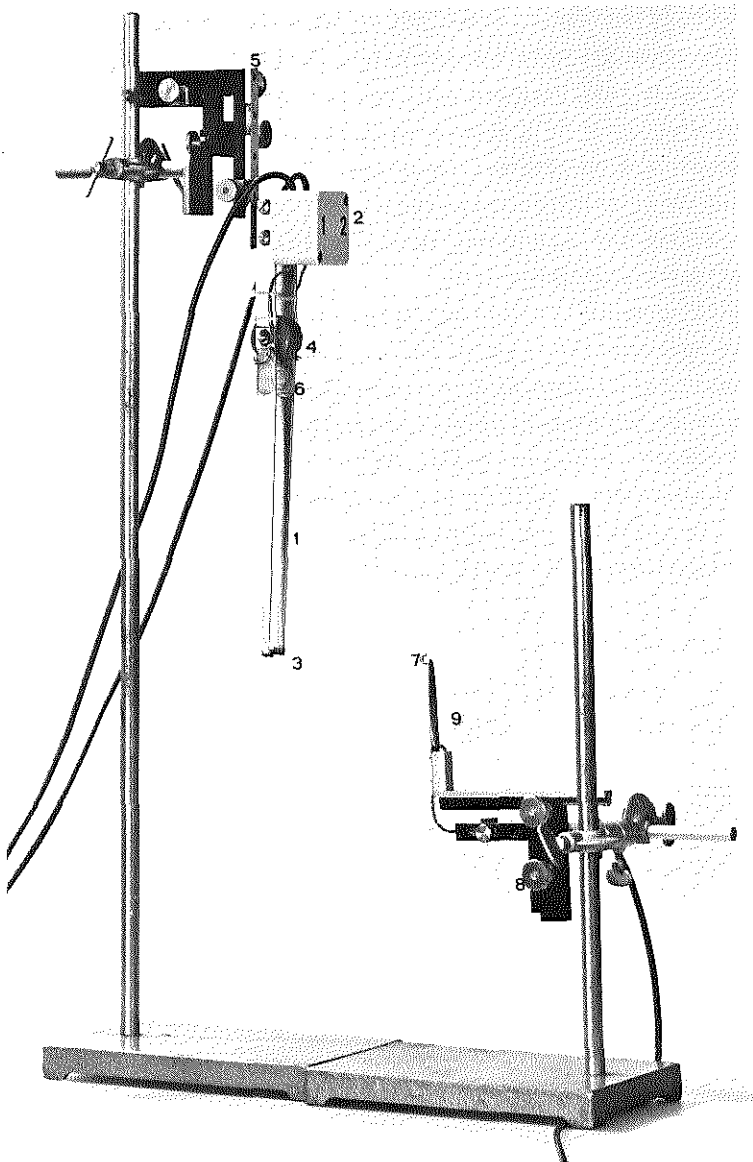


Fig. 10 - De pincetconstructie

Aan de linker standaard is bevestigd het pincet voor de mediaanwaartse kracht, aan de rechter standaard het trekmechanisme voor de thyreoidhoektrekkracht. De nummering correspondeert met de nummering in de tekst.



- 4 - De stelschroef, welke beide benen van het pincet gelijktijdig naar binnen of naar buiten brengt over dezelfde afstand. Hiermede wordt voorkomen, dat het ene been zich ten opzichte van het stilstaande andere verplaatst. Dit kan dan aanleiding geven tot asymmetrie in de instelling van het arytenoidcomplex: de klampvoetjes worden alleen in het horizontale vlak bewogen en de arytenoiden worden niet opgewipt door het grijpende pincetuiteinde.
- 5 - Het systeem van drie loodrecht ten opzichte van elkaar opgestelde kruistafels waardoor de positie van de arytenoiden nauwkeurig geregeld kan worden. Tevens bevindt zich hieraan een stopinrichting, welke een eenmaal gemaakte instelling vasthoudt.
- 6 - De rekstrookjes, welke op de pincetbenen bevestigd zijn, waardoor de kracht, welke de pincetbenen op de arytenoiden uitoefenen, afleesbaar is als de zogenaamde mediaanwaartse kracht, *MWK* genoemd. Deze rekstrookjes zijn aan de binnen- en buitenzijde van de pincetbenen bevestigd. De twee rekstrookjes van ieder pincetbeen staan op een schakelbox in een halve brug van Wheatstone. Beide halve bruggen staan weer in een volledige brug en gaan dan naar de uitgang van de schakelbox om te worden doorverbonden met de meter. Zo wordt een symmetrische instelling van de mediaanwaartse kracht verkregen, dit in tegenstelling tot Tan's opstelling. Bij de stemgeving is het van groot belang dat de stembanden symmetrisch ten opzichte van elkaar bewegen. Asymmetrieën kunnen ten dele worden opgevangen door de zg. interne koppeling, waarbij de stemplooi met de grootste randspanning de leiding heeft bij de geluidsproductie. De gemakkelijkst aangedrevene trekt de ander mee in de vibratiecyclus. Er zullen echter bij een asymmetrische instelling faseverschillen ontstaan waardoor de beweging afwijkt van het normale trillingspatroon. Dit zal dan veranderingen in de impedantie tot gevolg hebben.
- 7 - De trekhaak, welke op het uiteinde van een veerkrachtige balk zit. Om de tractie (*T*) aan de thyreoidplaten te bereiken ter nabootsing van de werking van de *m. cricothyreoideus* wordt een linnen draad door de kraakbenige prominentie: de adamsappel, geslagen. Deze draad wordt met een lusje om de trekhaak gezet.
- 8 - De kruistafel, welke de trekhaak in voor- respectievelijk achterwaartse richting verschuift. Vóór en achter zijn respectievelijk ventraal en dorsaal in het preparaat.
- 9 - De rekstrookjes van het tractie-apparaat, welke door de tractie aan het preparaat door middel van de trekhaak worden geactiveerd.

Zowel de ~~MWK~~ als de T worden in microstrain afgelezen. Er is een lineair verband tussen microstrain en de kracht in Newton.

Door aanwezigheid van twee rekstrookjes worden meetfouten ten gevolge van temperatuursverandering gecorrigeerd.

#### 2.1.5 Overige aspecten bij de opstelling van het larynxpreparaat (fig. 9)

##### a - Flow

De luchtstroom, uitgedrukt in cc /sec. moet constant en regelbaar zijn. Door een reduceerventiel van het type Norgren op de centrale persluchtleiding aan te brengen is een acceptabele luchtstroom te verkrijgen, welke met een kraan regelbaar is. De meting van de flow geschiedt door tussenschakeling van een flowmeter (HP 8805 C) met een venturibuis en twee druktransducers en de registratie door een schrijver (HP 7702B).

##### b - Druk

Vanuit de subglottische ruimte van de glasbuis loopt via een T-stuk een stugge plastic slang naar een druktransducer. De aflezing van de subglottische druk geschiedt in cm H<sub>2</sub>O.

##### c - Temperatuur en relatieve vochtigheid

De relatieve vochtigheid in de uitademingslucht ligt tussen de 90 à 100 %. Om dit ook in de proefopstelling te bereiken wordt in de afvoerslang van het reduceerventiel een watervat met een inhoud van 1½ liter opgenomen van het type Cape Bennett. Dit watervat, gebruikt bij de beademingsapparatuur, is ontwikkeld aan de hand van eisen, welke bij de mens worden gesteld. Het watervat heeft een temperatuurregelend element, dat instelbaar is. De temperatuur wordt afgelezen door middel van een elektrische thermometer, welke subglottisch in de glazen buis is aangebracht en wordt tussen 32° en 36° C gehouden ook bij grotere luchtstromen. De relatieve vochtigheid wordt gemeten door middel van een haarhygrometer. Zij bedraagt 90 % bij een luchtstroom van 500 cc per sec. Het buizensysteem tussen het reduceerventiel, het watervat en de glasbuis bestaat uit een gewapende slang, zoals gebruikt in de beademingsapparatuur. Deze slang zet bijna niet uit bij de in dit onderzoek gebruikte flows en drukken. Wel moet erop worden toegezien dat de buizen een zodanige stand innemen, dat het water in het watervat kan terugvloeien bij condensvorming. Is dit niet het geval dan ontstaan er hinderlijke resonanties, welke het gehele systeem, inclusief glasbuis met strottenhoofd in trilling brengen.

d - Belichting

Precies boven de larynx, in het middenvlak door de glottis, wordt een stroboscooplamp (B. en K. type 5655) geplaatst, zodat er geen misleidende schaduw in de glottis valt, welke de interpretatie van het stembandcontactvlak kan bemoeilijken. \*

De onderzoekruimte wordt verduisterd.

e - Elektroden

De elektroden zijn ongeveer 1 cm in diameter, muntvormig en aan één zijde voorzien van een opzetstuk met schroefdraad (diam. 2 mm). Zij worden op stembandniveau aan elke zijde in het kraakbeen van de thyreoïdplaat geschroefd, echter niet zo diep dat de m. vocalis geraakt wordt. Zo wordt de golfbeweging in deze spier niet geremd en is er een optimaal elektrodecontact, mede dank zij de steeds gebruikte elektrodenpasta. Aan de buitenzijde is een uitsparing aanwezig voor een draadstekker, doorverbonden naar de elektroglottograaf. De elektrode is de belangrijkste schakel tussen het weefsel en het apparaat. Aan de zijde van de elektroglottograaf ontstaat een elektronenstroom door de metaalgeleiding in het messing. Aan de weefselzijde ontstaat een geleiding door de verschuiving (drift) van de geladen ionen door het elektrolyt (weefsel) heen. Deze conversie wordt vergemakkelijkt door gebruikmaking van elektrodenpasta, een oplossing van hoofdzakelijk  $\text{Na}^+$  en  $\text{Cl}^-$ . In verband met het 'skin-effect' in de elektrode, zoals dat optreedt bij elke wisselstroom, doch vooral bij hoog-frequente wisselstromen, werd het aanvankelijk wenselijk geacht gebruik te maken van half-bolle elektroden zowel bij het preparaat als op de huid van een proefpersoon. Een verschil ten opzichte van de muntvormige elektroden is in de signaalkwaliteit niet duidelijk tot uitdrukking gekomen, zodat wij gemakshalve de muntvormige elektroden verkozen bij het larynxpreparaat. In verhouding tot het preparaat dienen de elektroden proef-

\* In dit kader kan Van den Berg, 1968, blz. 26 geciteerd worden: 'In general, and specially in chest voice, they (the vocal cords) close completely. But large degrees of asymmetry of vocal cord motion may occur. It then may appear, looking from above, that closure is complete, whereas looking sideways, at an angle, one sees that closure is not really complete. In such cases of asymmetry, one should be cautious in stating whether closure is complete or not'.

ondervindelijk voldoende groot te zijn. Zij mogen niet te dicht bij elkaar geplaatst worden. Is dit wel het geval dan kan ook de goede impedantiemeter onvoldoende stroomlijnen in de diepte projecteren, zodat hoofdzakelijk de wandbeweging wordt geregistreerd en de glottisactiviteit niet aan bod komt.

f - Verdere apparatuur:

- Elektroglottograaf Frøkjær-Jensen EG 830 alsmede een in eigen laboratorium ontwikkelde elektroglottograaf.
- Oscilloscoop (Tektronics) met Polaroid-opzetstuk.
- Frequentiemeter (merk HP 5300A en 5301A).
- Temperatuurmeter (Eilab A/S).
- Stroboscoop: Brüel & Kjaer No. 5655.
- Rekstrookjesmeter: Strain Transducer Indicator No. CA 300 (Peckel Div.).
- Instrumentatierecorder Bell en Howell (CPR 4010) voor opslag van de meetgegevens.
- Fotocamera: Nikomat met balg en 135 mm lens.

## 2.2        Controleproeven op de meetmethode

### 2.2.1      Inleiding

Het preparaat is een dood strottenhoofd. Ten gevolge van autolyse en rigor mortis zijn de spiereigenschappen veranderd. Er bestaan géén vitale functies meer, zoals onder meer blijkt uit het wegblijven van een reactie op prikkeling door galvanische stroom. Slechts de mechanische eigenschappen blijven behouden.

Om een indruk te krijgen van het goed functioneren van de proefopstelling met het larynxpreparaat wordt een aantal controleproeven uitgevoerd.

- a - Van een overeenkomstige opstelling met larynxpreparaten gaf Tan (1960) flow- en drukdiagrammen. Hiermede overeenkomende proeven worden opnieuw uitgevoerd en besproken als proef C-1a en C-1b (paragrafen 2.2.2 en 2.2.3).

- b - In het preparaat zal worden nagegaan of de valse stembanden volledig kunnen worden weggenomen zonder het elektroglottogram te beïnvloeden. Dit wordt besproken als proef C-2 (paragraaf 2.2.4).
- c - Om de invloed van uitdroging van het preparaat na te gaan op het elektroglottogram wordt proef C-3 verricht (paragraaf 2.2.5).
- d - Het weefsel, dat het contactvlak vormt bij de stembandbeweging, te weten het ligamentum vocale met bekleedende mucosa, wordt gerekt ten gevolge van die beweging. Dit is onder meer een longitudinale (sagittale) rek. Het krachtsverlies, dat bij plotselinge rek van geëxcideerde stembanden optreedt, wordt beoordeeld (paragraaf 4.7).

## 2.2.2 Proeven ter controle van de opstelling met het preparaat

De aërodynamische theorie kan geïllustreerd worden door de flow en de subglottische druk te registreren bij verschillende instellingen van de larynx. De verbanden tussen mediaanwaartse kracht (MWK), thyreoidhoektractie (T), flow, subglottische druk en frequentie van de geproduceerde toon werden reeds door Tan (1960) op preparaten nagegaan. Hieraan wordt de preparaatopstelling getoetst. Bij deze opstelling zal de invloed van de MWK worden nagegaan bij trapsgewijs opvoeren van de flow, zonder evenwel van de trekkracht (T) aan de thyreoidhoek gebruik te maken (proef C-1a, fig. 11). Bij een vaste MWK wordt dezelfde proef als C-1a uitgevoerd, doch nu met gebruik van de trekkracht (T) (proef C-1b, fig. 11).

De uit het elektroglottogram afgelezen frequentie kan eveneens uitgezet worden ten opzichte van de MWK alsmede tegen T (fig. 12).

Uit fig. 11 en fig. 12 tezamen kan de relatie tussen subglottische druk en frequentie worden gevonden voor de C-1a en C-1b proef (fig. 13).

# Proef C-1a

Met behulp van een elektroglossogram blijkt de frequentie van de stembandtrilling goed te meten te zijn. Daarom wordt gekozen voor proeven, waarbij deze parameter geleidelijk kan worden opgevoerd. Dit bereikt men door bij eenzelfde flow de MWK in vaste stappen op te voeren van 0-3 Newton bij een trekkracht (T), welke nul is. Hierbij kunnen echter geen hoge frequenties worden bereikt.

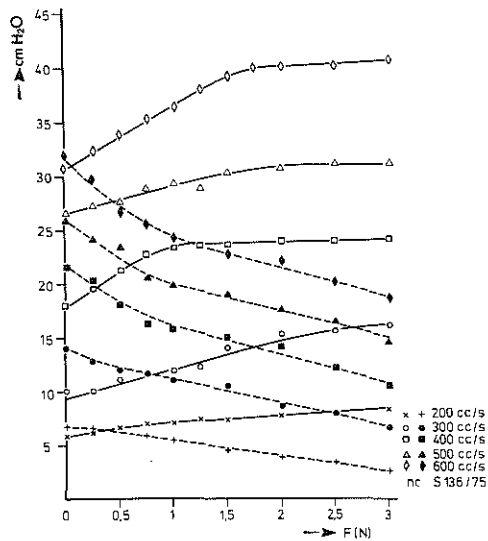


Fig. 11

De invloed van de mediaanwaartse kracht (MWK) op de subglottische druk bij verschillende flowwaarden is aangegeven als onderbroken lijn en open symbolen (proef C-1a).

De invloed van de trekkracht (T) bij een vaste MWK van 1,5 N is aangegeven voor verschillende flowwaarden als onderbroken lijn en gesloten symbolen (proef C-1b).

Kracht in Newton, druk in  $\text{cm H}_2\text{O}$  en flow in  $\text{cc/s}$ .  
Larynxpreparaat S136/75.

### Proef C-1b

Deze verloopt overeenkomstig C-1a, doch de MWK wordt gefixeerd op 1,5 Newton en de T wordt stapsgewijs gewijzigd van 0-3 Newton. De hoogst bereikbare frequentie wordt niet nagestreefd, aangezien hiervoor de MWK vergroot moet worden, hetgeen een wijziging van de proef betekent. Eerst wordt proef C-1a uitgevoerd, vervolgens bij hetzelfde preparaat, C-1b (preparaat No. S136/75).

De resultaten van de C-1a proeven zijn voor wat betreft de subglottische druk tegen MWK weergegeven in fig. 11, voor de frequentie tegen MWK in fig. 12 en voor het verband tussen frequentie en subglottische druk in fig. 13.

De resultaten van de C-1b proeven zijn voor wat betreft de subglottische druk tegen T bij MWK van 1,5 Newton, weergegeven in fig. 11, voor de frequentie tegen T bij een MWK van 1,5 Newton in fig. 12 en voor de relatie tussen frequentie en subglottische druk in fig. 13.

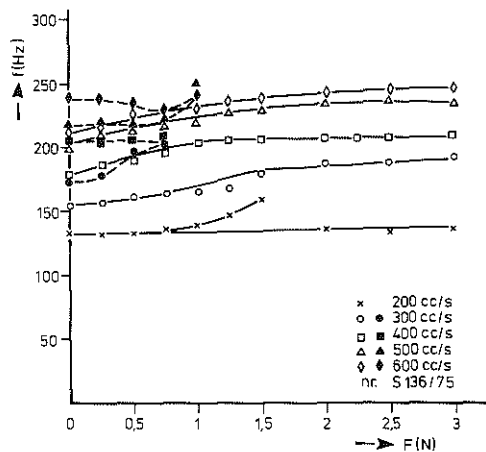


Fig. 12

De invloed van de MWK op de frequentie bij verschillende flowwaarden is aangegeven als ononderbroken lijn en open symbolen (proef C-1a).

De invloed van de trekkracht (T) bij een vaste MWK van 1,5 N en verschillende flowwaarden is aangegeven als onderbroken lijn en gesloten symbolen (proef C-1b).

Frequentie in Hz en flow in cc/s. Larynxpreparaat S136/75.

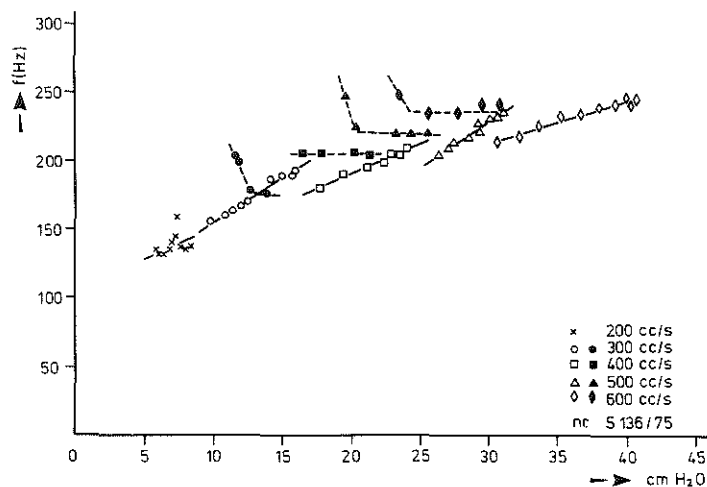


Fig. 13

Het verband tussen subglottische druk en frequentie bij verschillende flowwaarden.

Open symbolen: MWK bij  $T = 0$ .

Gesloten symbolen: Trekkracht ( $T$ ) bij een constante MWK van 1,5 N.

De corresponderende curven van Tan (1960) zijn op dezelfde schaal afgedrukt in de figuren 14 t/m 16. Een vergelijking laat het volgende zien:

- proef C-1a (fig. 11 en voor Tan's resultaten fig. 14)

In de relatie tussen subglottische druk en variabele MWK bij  $T = 0$ , zien we dat de subglottische druk overeenkomstig is en de MWK kleiner is dan drie Newton. Verhoging van de MWK geeft géén toename van de subglottische druk. De flow is doorgaans een factor twee groter. De ondergrens is 200 cc/s, dit is ongeveer driemaal groter dan bij Tan.



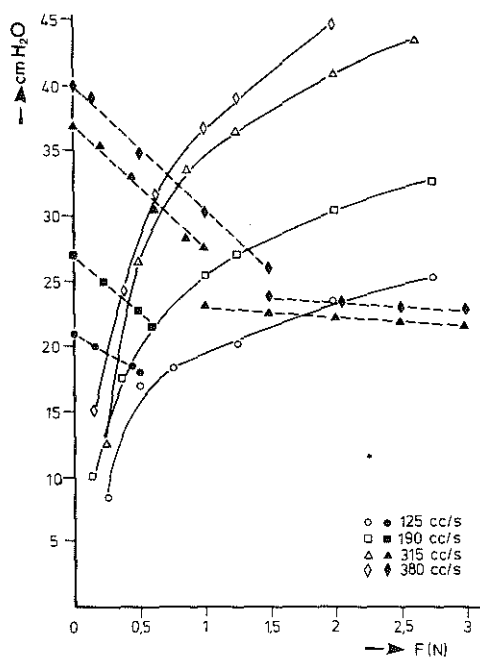


Fig. 14

De invloed van de MWK (ononderbroken lijn en open symbolen) op de subglottische druk en de invloed van de trekkracht (T) op de subglottische druk (onderbroken lijn en gesloten symbolen) bij een constante MWK van 1,5 N bij verschillende flow-waarden. Naar Tan, 1960 . Dezelfde grootheden als in fig. 11.

De waarden voor F gaan bij Tan door tot 6 N. Deze zijn in verband met de schaalgrootte niet ingebracht in de figuur.

- proef C-1b (fig. 11 en voor Tan's resultaten fig. 14).

In de relatie tussen subglottische druk en MWK = 1,5 Newton bij een variabele T, zien we dat bij verhogen van T de subglottische druk daalt. Dit geldt voor alle instellingspatronen bij een MWK van 1,5 Newton. Bij een flow onder de 200 cc/s is de subglottische druk te gering voor een goede geluidsproductie en voor een representatief elektroglottogram.

- proef C-1a (fig. 12 en voor Tan's resultaten fig. 15).

In de relatie tussen frequentie en variabele MWK bij T = 0, zien we dat bij gelijke MWK-waarden als boven de frequentie niet hoger wordt dan 250 Hz en de flow minstens 200 cc/s moet bedragen.

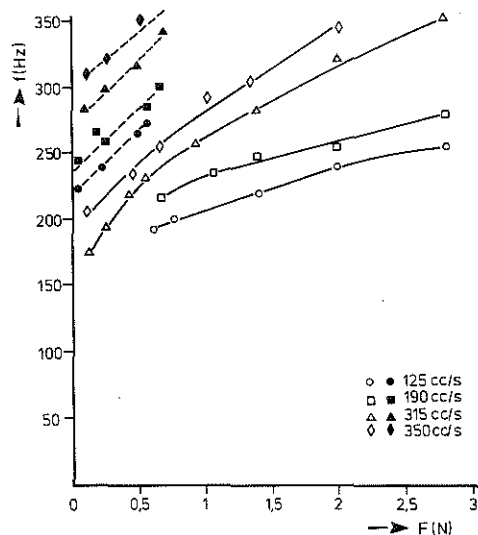


Fig. 15

Het verband tussen variabele MWK en frequentie en de relatie tussen variabele trekkracht bij een constante MWK van 1,5 N en de frequentie bij verschillende flowwaarden.

Dezelfde symbolen als in fig. 12; andere flowwaarden.

Naar Tan, 1960.

De waarden voor F gaan bij Tan tot 6 N. Deze zijn in verband met de schaalgrootte niet ingebracht in de figuur.

- proef C-1b (fig. 12 en voor Tan's resultaten fig. 15).

In de relatie tussen frequentie en MWK = 1,5 Newton, bij een variabele T, zien we dat de frequentie toeneemt, doch niet in die mate als bij Tan plaatsvindt, wanneer T groter wordt.

- het subglottische druk - frequentie diagram (fig. 13 en voor Tan's resultaten fig. 16) wordt samengesteld uit de vorengenoemde meetgegevens. Er is een duidelijke overeenkomst tussen beider resultaten. Opmerkelijk is de toename van de frequentie wanneer de subglottische druk toeneemt. Dit gebeurt telkens op een hoger niveau wanneer de flow-instelling een hogere waarde krijgt. Wanneer echter T wordt toegepast daalt de frequentie van de stembandtrilling on-

middellijk om daarna gelijk te blijven bij een verdere toename van  $T$ , tenzij de flow verhoogd wordt. Bij  $T_{an}$  blijkt echter geen plateau te ontstaan. Mogelijk is  $T$  niet verder opgevoerd. Onafhankelijk van de flow is het verband tussen de subglottische druk en de frequentie telkens hetzelfde. In de gegevens van fig. 13 neemt de helling in de MWK-proeven af bij toenemende flow, in fig. 16 neemt de helling daarentegen toe. Bij  $T_{an}$  wordt verder een hogere frequentie bereikt bij een lagere flow.

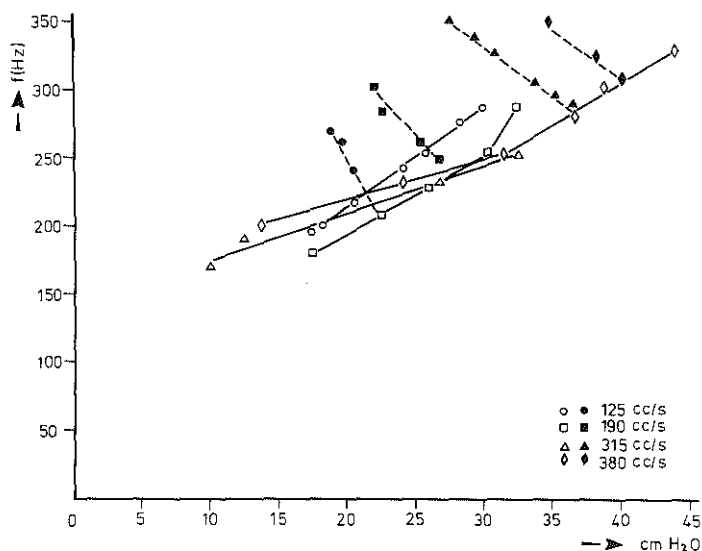


Fig. 16

De relatie tussen subglottische druk en frequentie bij variabele MWK-waarden (ononderbroken lijn en open symbolen) en bij een constante MWK van 1,5 N en variabele trekkracht (onderbroken lijn en gesloten symbolen), bij verschillende flowwaarden. Naar Tan, 1960 .

### 2.2.3 Discussie

Over het algemeen is er een redelijke overeenkomst tussen de meetgegevens in de figuren 11 t/m 13 en 14 t/m 16. Tan geeft echter als commentaar op zijn diagram dat het verloop van de curve van toepassing is op een larynxpreparaat met een groot niveauverschil tussen de stembanden in de sluitingsfase (zie fig. 17).

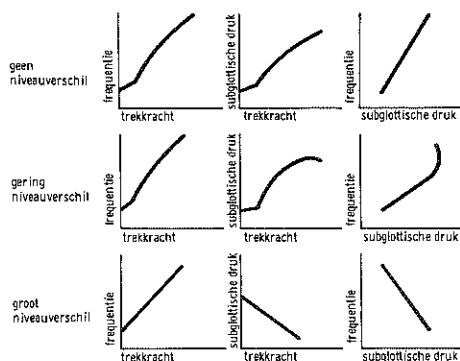


Fig. 17

Het niveauverschil van de stembanden dat de uitkomsten van fig. 14 t/m 16 bepaalt bij de proeven met gebruikmaking van trekkracht.

Naar Tan, 1960.

Dit zou speciaal voorkomen bij zogenaamde asymmetrische preparaten. Tan zegt dat 'het niveauverschil herkenbaar moet zijn aan het feit dat één van de stemplooiën tijdens de beweging meer gespannen is dan de andere'. Bij het opvoeren van T wordt de asymmetrie groter en valt de druk weg, tenzij de flow wordt verhoogd.

Ten opzichte van de asymmetrische larynx van Tan in fig. 14 t/m 16 toonde ons preparaat slechts een zeer lichte vorm van hypokinesie: de glottis bleef bij een MWK van 1,5 Newton, de gekozen middenwaarde, enigszins ovaal open staan. Wanneer dan bij het opvoeren van T opnieuw de glottis beoordeeld werd, bleek

deze spleet zich niet te sluiten, zoals te verwachten was op grond van de functie van de *m. cricothyreoideus*, welke immers een lichte adductiefunctie heeft naast een stmbandverlenging. Men kan hiervoor de volgende verklaring geven: door de tractie (T) te ontbinden langs de schildkraakbeenplaten zal een stmband zich bij verlenging tegen deze plaat aanleggen en daarmee het arytenoid naar buiten trekken op de aanhechting van de *m. cricoarytenoideus lateralis*. Bij een constante MWK van 1,5 Newton is deze buitenwaartse druktoename groter bij verhoging van T dan de ingestelde 1,5 Newton kan compenseren. Er wordt echter geen verhoging van de MWK ter compensatie van het effect van de toename van T toegestaan. De proeven in fig. 11 t/m 13 dienen immers als toets op de proeven van Tan, getoond in de figuren 14 t/m 16. Dit verklaart het wegvallen van de subglottische druk, zoals uit proef C-1b (fig. 11) blijkt. Slechts een verhoging van de flow zal de subglottische druk kunnen doen toenemen, doch met een gelijk effect bij het opvoeren van T. Dit wegvallen van de subglottische druk was overigens niet bij alle hierop geteste preparaten aanwezig. In een pincetconstructie zonder klampjes zoals bij Tan kan dit euvel ondervangen worden door de pincetbenen ventraal van de processusvocales op de stmbanden te plaatsen. Men past dan een extra mediale stmbandcompressie toe, welke de effectieve glottisspleet verkleint en daarmee de subglottische druk doet stijgen, waardoor tegelijk de toon hoger wordt. Deze extra mediale compressie aan de ventrale zijde van de processusvocales kan in onze constructie niet optreden. Het groter worden van de glottisopening wordt in vivo door de *m. vocalis* gecompenseerd, waardoor een efficiëntere larynxfunctie ontstaat. De flowwaarden zijn door dit mechanisme bij de larynxpreparaatproeven hoger, doch vallen nog juist binnen de fysiologisch toelaatbare grens.

Door dit verschil in pincetconstructie en dientengevolge in larynxpreparaatfunctie bij opvoeren van MWK is er nog een verschil in fig. 11 en 12 ten opzichte van fig. 14 en 15. De toegepaste MWK overschreed de drie Newton niet, omdat gebleken was, dat een verdere verhoging niet in druk- of frequentietoename resulteerde. Bij Tan (1960) werd de MWK tot zes N opgevoerd. Omwille van de schaalgrootte is dit niet in fig. 14 en 15 ingebracht. Dit betekent een extra argument voor een toename van de ventrale stmbandcompressie in de proeven van Tan met een dientengevolge optredende verkleining van de glottisopening. De hier gebruikte klampconstructie maakt dit niet mogelijk. Dit verklaart ook de bijna een factor twee grotere waarden voor de flow, die noodzakelijk zijn om in fig. 11 en 12 tot overeenkomstige druk- en frequentie-uitkomsten te komen. De subglottische druk is in fig. 11 voor een flow van 200 cc/s en 300 cc/s binnen fysiologische waarden en

blijft daarmee onder die van Tan (fig. 14).

Op grond van proef C-1a en C-1b menen we te kunnen besluiten tot een bruikbare opstelling. Belangrijk is de plaats van het pincet bij de proeven, zowel in verband met de symmetrie alsmede de aan te brengen druk vóór de processus vocalis, met name bij lange stembanden. Hierbij dreigt anders het effectieve stembandcontactvlak tijdens de elektroglottogramproeven te verkleinen ten koste van het elektroglottogram.

#### 2.2.4 De invloed van de valse stembanden op het elektroglottogram.

##### Proef C-2:

Bij het prepareren van de larynx, zoals in 2.1.3 is aangegeven, werd altijd het valse stembandweefsel weggenomen om het zicht op de ware stembanden niet te belemmeren en de geluidsproductie niet door storende tonen te beïnvloeden ten gevolge van flapperen in de luchtstroom. Kan echter de valse stemband volledig worden verwijderd zonder dat dit invloed heeft op het elektroglottogram? Deze vraag kan beantwoord worden door de opnamen van de oscilloscoop als weergegeven in fig. 18a t/m 18d.

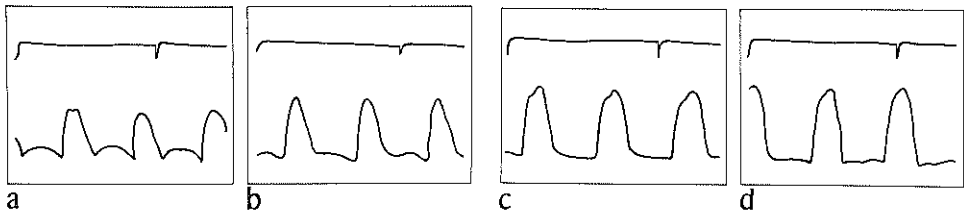


Fig. 18 a - d Proef C-2: de invloed van het wegknippen van de valse stembanden op het elektroglottogram. Zie voor a - d de tekst. Larynxpreparaat S314/75.

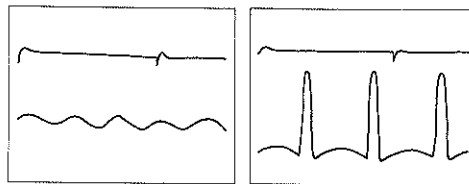


Fig. 19 Proef C-3: het elektroglottogram (links) na uitdroging en (rechts) na opnieuw bevochtigen van de ware stembanden. Larynxpreparaat S314/75.

In opname a ziet U een elektroglottogram met de twee valse stembanden door nylon-draadjes in hun normale positie gehouden.

In opname b worden zij beide naar lateraal bewogen, zoals dat bij de normale stemfunctie het geval is.

In opname c is de rechter valse stemband weggenomen. De linker valse stemband blijft in dezelfde positie als onder b.

In opname d zijn beide valse stembanden verwijderd.

In de instelling van het preparaat was inmiddels geen wijziging aangebracht.

Het wegnemen van de valse stembanden lijkt niet of nauwelijks van invloed op de vorm van het elektroglottogram.

Dit is een aanwijzing, dat het elektroglottogram voornamelijk tot stand komt door de activiteit van de ware stembanden. Dit zegt natuurlijk nog weinig over de situatie bij de proefpersoon. Een onderzoek op valse stembandcontact door Van den Berg (1955) en Vennard (1967) liet zien, dat tijdens de produktie van alle vocalen de valse stembanden elkaar niet raken. Wel verschilt de sinus Morgagni in grootte zonder een bepaalde systematiek. Waarschijnlijk houdt dit verband met de functie van een 'low-pass'filter' welke de sinus Morgagni vervult, als eerste gedeelte van het aanzetstuk. Derhalve geeft het preparaat zonder valse stembanden de echte 'primaire glottistoon'.

#### 2.2.5 De invloed van uitdroging op het elektroglottogram.

##### Proef C-3:

Nadat de situatie onder fig. 18d bereikt was, werd hetzelfde preparaat met dezelfde meetcondities na 10 minuten drogen aan de lucht direct aangesloten op droge perslucht.

Het resultaat daarvan op het elektroglottogram is weergegeven links in fig. 19. Het geproduceerde geluid klonk schor en er was voornamelijk in de voorste en achterste commissuur activiteit waar te nemen. Vervolgens werd het preparaat met in fysiologisch zout gedrenkte watten opnieuw bevochtigd en met waterdamp verzadigde perslucht aangeblazen.

Het elektroglottogram (rechts in fig. 19) bleek te verschillen met dat van links in fig. 19.

Een juiste bevochtiging van het preparaat is dus zeer belangrijk voor een goede geluidsproduktie en de interpretatie van het elektroglottogram.

### Hoofdstuk 3 VERGELIJKEND ONDERZOEK AAN ELEKTROGLOTTOGRAFEN

#### 3.1. Onderzoek van verschillende elektroglottografen

##### 3.1.1. Inleiding

Met de elektroglottografie werd in de Rotterdamse kliniek in 1971 begonnen bij de komst van de 'Loebell MG-8', een ontwerp van M. Gruber uit München. De eerste registraties met deze elektroglottograaf bestonden uit de weergave van een aantal Nederlandse klinkers geproduceerd door normale proefpersonen. De verschillen in de spectra van deze klinkers zijn hoofdzakelijk toe te schrijven aan verschillen in resonantie-eigenschappen van het supraglottisch gebied, dus door de verschillende formanten. In het algemeen wordt aangenomen, dat slechts kleine verschillen in het trillingspatroon van de stembanden worden veroorzaakt door koppeling van het aanzetstuk (zie paragraaf 1.3.3).

Bij het bekijken van het resultaat bleken echter de elektroglottogramsignalen aanzienlijk te verschillen. De moeilijke interpretatie welke hierdoor optrad weerhield ons de elektroglottograaf voor klinische doeleinden in te zetten. Men was er niet van overtuigd, dat de signalen de werkelijke glottisactiviteit vertegenwoordigden. Op grond van deze bevindingen werd besloten de signalen van verschillende elektroglottografen na te gaan. Dit geschiedde door het elektroglottografiesignaal te bekijken in relatie tot het trillingspatroon van de stembanden bij preparaten en door verschillende klinkers met elkaar te vergelijken in het elektroglottogram van proefpersonen. Reeds Müller (1837) stelde, dat de studie van de fonatie met behulp van uitgeprepareerde larynxen een juiste stap is om tot een werkelijk begrip van de fonatie te komen. Het vergelijkend onderzoek van de stembandbeweging en het elektroglottogram met de identificatie van specifieke momenten in de bewegingscyclus wordt met behulp van stroboscopie verricht. De experimentele opzet wordt gedetailleerd besproken in hoofdstuk 4.

De volgende elektroglottografen werden getest.

EG-1 : De elektroglottograaf volgens Loebell; MG-8, geconstrueerd door Martin Gruber te München. Dit is een modificatie naar het ontwerp van Loebell en Balk, waarbij opvalt dat één van de twee elektroden geïsoleerd is.

EG-2 : Elektroglottometer Mark IV, constructie Van Michel, Luik.

EG-3 : Een veranderde versie van de EG-2.



EG-4 : De elektroglottograaf EG-830 van Frøkjær-Jensen, Denemarken.

EG-5 : Een type dat op onze afdeling werd gebouwd.

De meetbrug is identiek aan die van de Löebell MG-8.

Alleen de detectie van het signaal verschilt.

EG-6 : Dit is eveneens een type, dat gebouwd werd op de eigen afdeling.

De meetbrug is dezelfde als in de EG-2 toegepast.

De oscillator-frequentie is echter 10 MHz.

De signaaldetectie verschilt enigszins.

### 3.1.2 Experimenten met verschillende elektroglottografen.

Op de eerste plaats werd getracht de plaats te vinden met de zogenaamde maximale elektrode-activiteit. De signalen werden geregistreerd voor verschillende elektrodeposities aan de buitenzijde van de lamina thyreoidea, alsmede de trachea. De elektroden werden altijd symmetrisch ten opzichte van elkaar aangebracht. Om evenwel de relatie tussen het signaal en de elektroden te kunnen weergeven, werden vier punten op een horizontale en vier op een verticale lijn gekozen. De onderlinge afstand bedroeg ongeveer één cm (zie fig. 20). Tegelijkertijd werd gelet op de relatie tussen het elektroglottografiesignaal en het stroboscopisch beeld. De stroboscoop maakt het als het ware mogelijk de beweging van de stembanden te bevriezen op iedere gewenste fase van de trillingscyclus. Karakteristieke punten in het elektroglottogram werden geregistreerd, waarna getracht werd een verband te leggen tussen deze karakteristieke momenten en bepaalde tijdstippen binnen de bewegingscyclus van de stembanden. Het elektroglottogram, de markeerder van de stroboscoopflits, de subglottische druk en in sommige gevallen het fotoglottogram werden op het oscilloscoop-scherm tegelijk geregistreerd. In een apart programma werden verschillende elektroglottografen op proefpersonen getest. Men werd gevraagd de Nederlandse klankers a/a:/, i/i:/, oe/u/, o/o:/ en u/y/ uit te spreken. De elektroglottogrammen werden vanaf de oscilloscoop gefotografeerd.

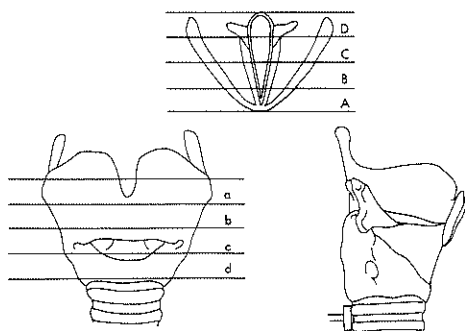


Fig. 20

Verschillende larynxaanzichten in verband met de plaatsing van de elektroglottograaf-elektroden. A t/m D in het horizontale vlak op één lijn met de ware stembanden en a t/m d in het verticale vlak op één lijn tussen proces-sus vocalis en voorste commissuur. Rechts onder is één elektrode op de pars membranacea van de trachea aangebracht.

### 3.1.3 Resultaten

We klassificeerden de signalen van de elektrodeplaatsingen op het preparaat volgens tabel I. In deze tabel wordt de signaal-ruisverhouding weergegeven als kwaliteitsmaat.

Uit de tabel wordt het duidelijk, dat de elektroglottografen 2, 3, 4 en 6 hun maximale signaal opleveren bij een elektrodeplaatsing ter hoogte van de stembanden. Op alle overige posities vindt men een kleinere signaal-ruisverhouding. Ook voor asymmetrisch geplaatste elektroden verminderde de signaal-ruisverhouding. In deze elektroglottografen is de plaats van elk der elektroglottografen even belangrijk.

De resultaten voor de glottografen 1 en 5 echter zijn in afwijking van de zojuist gegeven beschrijving. Zij geven hun maximum-signaal met de geïsoleerde elektrode op de plaats van de maximale uitwijking van de tracheawand: de pars membranacea. De positie van de niet geïsoleerde elektrode is niet van betekenis en mag zelfs de hand van de proefpersoon zijn. Wordt evenwel de isolatie van de eerste elektrode verwijderd, dan valt het signaal weg.

Een ander opmerkelijk feit is het vergelijkend onderzoek zoals dat nog beschreven wordt in hoofdstuk 4. Met de elektroglottografen 2, 3, 4 en 6 was het mogelijk een verband te leggen tussen het elektroglottogram en de visuele informatie via de verschillende stroboscoopbeelden.

De correlatie tussen het visuele beeld en het elektroglottogram bleek niet

afhankelijk te zijn van de plaatsing van de elektrode noch van de gebruikte oscillatorfrequentie. Met de apparaten 1 en 5 was dit verband niet te leggen. Een verschuiving, welke in de elektrodeplaats werd aangebracht, resulteerde in een faseverschuiving tussen het glottografiesignaal en het stroboscopisch beeld.

Tabel I.

Resultaten van de verschillende elektrodeplaatsingen, weergegeven in signaal-ruisverhouding. De plaatsing is volgens fig. 20 bij 6 verschillende elektroglottogrammen gemeten.

	A	B	C	D	a	b	c	d	andere plaatsen
EG-1 (MG 8)	±	+	+	++	++	+	+	-	++
EG-2 (Mark IV-a)	+	+	±	-	-	+	±	-	-
EG-3 (Mark IV-b)	+	+	±	-	-	+	±	-	-
EG-4 (Frøkjær J)	++	++	+	-	-	++	+	-	-
EG-5 (ontwerp MG 8)	±	+	+	++	++	+	+	-	++
EG-6 (ontwerp Mark IV)	+	+	±	-	-	+	±	-	-
Signaal-ruisverhouding: zeer goed++>40 dB; goed +≈ 40 dB; matig± tussen 30 - 40 dB slecht≈30 dB									

In fig. 21 a en b is het elektroglottogram afgebeeld van een normale proefpersoon die enige klinkers uitspreekt. Deze figuur toont de resultaten van de MG-8 onder a en de resultaten verkregen met de EG-830 onder b. De elektroglottogrammen van de Mark IV zijn overeenkomstig aan die van de EG-830. Deze laatste geeft praktisch identieke signalen voor alle klinkers, terwijl de MG-8 verschillende signalen geeft voor iedere klinker.

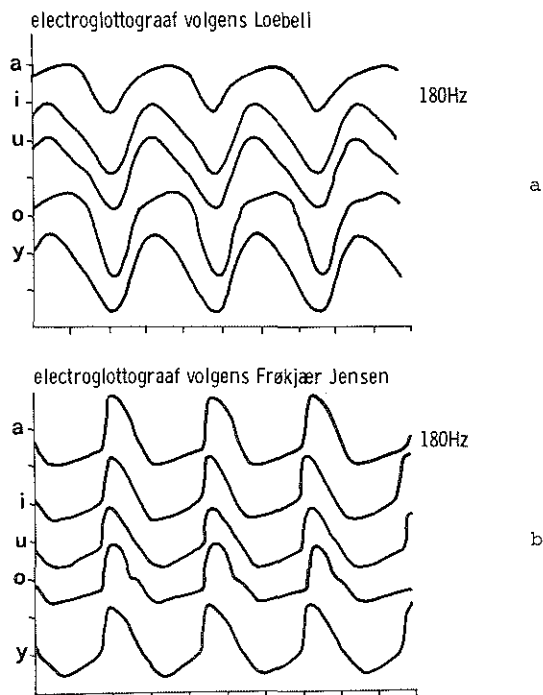


Fig. 21

Verschillende vocalen, op 180 Hz gefoneerd, weergegeven met de elektroglottograaf volgens Loebell en de elektroglottograaf volgens Frøkjær-Jensen.

#### 3.1.4 Discussie.

In de voorafgaande paragraaf hebben we gezien dat er belangrijke verschillen bestaan in de resultaten van verschillende elektroglottografen. De signalen van de originele MG-8 en het eigen ontwerp van de MG-8 (groep I) verschillen van die van de Mark IV's en de EG-830 (groep II). Binnen de twee groepen van elektroglottografen zijn de resultaten vrij overeenkomstig. De elektrodeplaatsing is van groot belang bij de Mark IV en de andere apparaten van groep II, terwijl alleen de plaatsing van de geïsoleerde elektrode een rol speelt bij de MG-8. Deze laatste gaf een maximum-signaal op de pars membranacea van de trachea, terwijl de andere ontwerpen hun maximum-signaal slechts geven in een klein gebied nabij de ware stembanden.

De glottogrammen voor de verschillende klinkers verschillen onderling in de registraties met de MG-8, doch zijn praktisch identiek bij de andere elektroglottografen. Het is bekend, dat de stembandvibraties bij de verschillende klinkervorming vrijwel identiek verlopen (zie blz. 132).

Bekijken we vervolgens de elektroglottografen vanuit een elektronisch standpunt, dan zien we dat de belangrijkste verschillen tussen de MG-8 en de andere typen gelegen is in de elektrode-isolatie en de oscillator-frequentie. De MG-8 werkt met een geïsoleerde elektrode en een lage oscillator-frequentie van 20-50 kHz, terwijl deze frequentie bij de andere apparaten 0,5-10 MHz is. Ten gevolge van deze lage oscillator-frequentie bij de MG-8 is de capaciteitsbijdrage van de geïsoleerde elektrode op de totale impedantie tussen de elektrodes belangrijk. Dit houdt in dat ook de capaciteitsveranderingen ten gevolge van de trillingen van de larynxwand (preparaat) of halshuid (proefpersoon) een signaal tot gevolg hebben. Naar onze mening is dit de belangrijkste verklaring voor de optredende verschillen. Het komt erop neer dat de MG-8's, welke hierboven getest werden, in feite géén elektroglottografen zijn, doch bewegingsopnemers ter hoogte van de geïsoleerde elektrode. Het is nu ook duidelijk waarom het onmogelijk bleek bepaalde tijdstippen in het glottogram van de MG-8 te correleren met specifieke momenten binnen de bewegingscyclus van de stembanden. Wanneer de elektrode verschoven werd, was er een verschil in fase-relatie tussen glottogram en stembandbeweging, na te gaan met behulp van stroboscopie. De gestoorde fase-relatie is ook een gevolg van het feit dat deze MG-8's de larynxwandbeweging, welke in fase met de stemband verschilt, registreren. Met de andere elektroglottografen echter wordt een uniform en begrijpelijk verband aangetoond met de beweging van de stembanden en het elektroglottogram (fig. 30 en 31, hoofdstuk 4).

De conclusie is dus dat de MG-8's in feite trillingsopnemers zijn. De overige geteste elektroglottografen blijken wel een stembandactiviteit weer te geven.

## 3.2 Filters

### 3.2.1 Inleiding

Uit het voorafgaande werd duidelijk dat de MG-8 geen glottograaf is. De andere gesteste glottografen geven wel de activiteit van de stembanden weer. Als we echter de registraties van de verschillende glottografen vergelijken, blijken er toch behoorlijke verschillen op te treden. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door de manier waarop het signaal gefilterd wordt. Deze filtering is echter noodzakelijk om enerzijds het effect van de draaggolf uit te schakelen (laag-doorlaatfilter), anderzijds om de grote impedantieveranderingen ten gevolge van verplaatsingen van weefsels weg te werken en uitsluitend het signaal over te houden, dat

samenhangt met het foneren. Omdat deze filtering bij de verschillende glottogrammen veel verschilt, is het niet mogelijk tot een eenduidige kwantificering van de glottogrammen te komen.

In deze paragraaf zal worden nagegaan hoe de filters gekozen moeten worden voor het verkrijgen van een optimale informatie uit het elektroglottogram.

De filterinvloed wordt nagegaan door een simulatie van het glottogram te filteren. We nemen als simulatie een blokvormig signaal met een frequentie van 100 Hz. De blokvorm is vrij representatief voor het glottogram in het borstregister, hoewel het glottografisch signaal niet symmetrisch is. Nu komt 100 Hz ongeveer overeen met de laagste frequentie waarbij mannen kunnen foneren.

### 3.2.2 Resultaten

De blokspanning en de invloed daarop van de diverse filters, ziet U in fig. 22. Reeds bij een afsnij-frequentie van 5 Hz is er een duidelijke invloed van het filter zichtbaar.

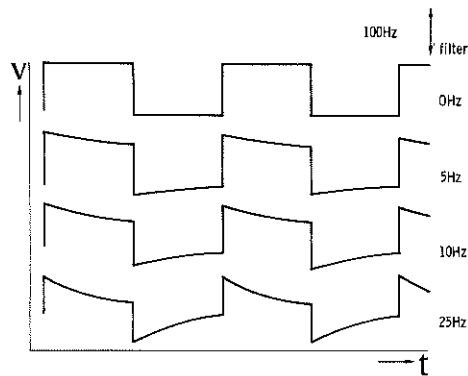


Fig. 22

De invloed van verschillende filterfrequenties op een blokspanning van 100 Hz.

Voor 25 Hz is dit als volgt te berekenen:

- Filter 25 Hz, glottogram(blok) frequentie = 100 Hz.

$$V_c = V_o \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad V_c = \text{de gemeten hoogte van het uitgangssignaal}$$

$V_o$  = de hoogte van het blok

$\tau$  = de tijdconstante van het filter

$\tau$  is voor 25 Hz als volgt te berekenen:

$$\tau = \frac{1}{2\pi f} = \frac{1}{2\pi 25} = 6,4 \text{ ms.}$$

$$t \text{ bij } f_g = 100 \text{ Hz aan het einde van het blok} = \frac{1}{100} \times \frac{1}{2} = 5 \text{ ms.}$$

$$V_c = V_o \cdot e^{-\frac{5}{6,4}} = 0,46 V_o$$

De afname van de hoogte van de blokspanning is dus 64%.

Nemen we nu de situatie voor 2,5 Hz zoals dat voor het elektroglottogram getoond wordt in fig. 23, dan is te berekenen:

- Filter 2,5 Hz, glottogram(blok) frequentie = 100 Hz.

$$\tau = \frac{1}{2\pi f} = \frac{1}{2\pi 2,5} = 64 \text{ ms; } t = 5 \text{ ms.}$$

$$V_c = V_o \cdot e^{-\frac{5}{64}} = 0,94 V_o$$

De afname van de blokspanningshoogte blijkt dan 6% te zijn.

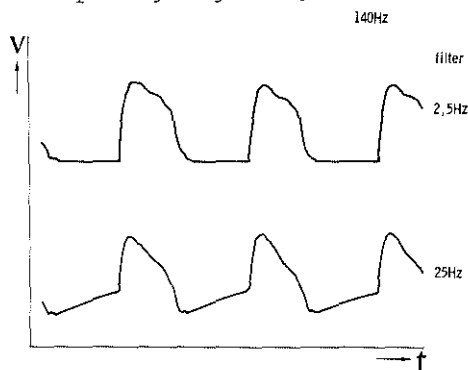


Fig. 23 - De invloed van een filter van 2,5 Hz en 25 Hz op een elektroglottogram van 140 Hz.

Resumerend is de amplitude-verandering voor het 2,5 Hz-filter 6% voor een blokfrequentie van 100 Hz en voor een 25 Hz-filter 64% voor een blokfrequentie van 100 Hz. In fig. 23 wordt dit onderscheid voor een elektroglottogram afgebeeld voor 140 Hz. Het verschil in filter spreekt voor zich. Dit verschil is duidelijker voor glottogrammen van 140 Hz dan bij voorbeeld 300 Hz, doordat in de bovenstaande formules  $t$  afneemt ( $t = \frac{1}{300} \times \frac{1}{2} = 1,67 \text{ ms}$ ) en hierdoor wordt  $V_c = 0,77 V_o$  (filter van 25 Hz). De amplitude-verandering is dan 23%.

### 3.2.3 Discussie

We zien dat het glottogram in het borstregister wat zijn vorm betreft aanzienlijk wordt beïnvloed door het laagafsnij-filter. Op grond van dit argument zal een zo laag mogelijke afsnij-frequentie gekozen moeten worden. Aan de andere kant levert een lage afsnij-frequentie weer een probleem op bij het begin van het foneren, bij het slikken en bij het maken van hoofdbewegingen. Deze problemen kunnen enigszins ondervangen worden door de patient langere tijd te laten foneren en op een rustig moment het elektroglottogram te beoordelen of door het hoofd bij voorbeeld in een stoel met een hoofdsteen te fixeren. Het signaal verdwijnt dan niet meteen van de oscilloscoop. Indien nu fixatie van het hoofd plaatsvindt is een afsnij-frequentie van 2,5 Hz zeker bruikbaar en acceptabel. Bij deze frequentie is het filtereffect vrijwel verdwenen.

Uit het voorgaande zal het duidelijk zijn, dat de Mark IV en de EG-830 glottogrammen zullen opleveren, welke verschillend zijn, uitsluitend ten gevolge van verschillen in filters (10 Hz respectievelijk 25 Hz).

Aldus blijkt dat niet ieder type glottograaf de echte stemband-impedantie weergeeft. Zo bleek de MG-8 een bewegingsdetector te zijn met overeenkomstige eigenschappen als een keelmicrofoon bij de stroboscopie. Hierdoor ontstond twijfel aan de juistheid van de metingen uit de groep van Loebell (Beck, 1967; Bürger, 1967; Loebell, 1970).

Er blijken grote overeenkomsten te zijn tussen de resultaten van de glottogrammen 2, 3, 4 en 6. Deze blijken alle glottogrammen te produceren, welke gecorreleerd kunnen worden met de bewegingen van de stembanden, onafhankelijk van de plaats van de elektroden. Verder blijken per apparaat de glottogrammen van klinikers nauwelijks te verschillen. De verschillen tussen de EGG-vormen van de diverse apparaten kunnen worden teruggevoerd tot verschillen, welke hoofdzakelijk optreden door de keuze van het laagafsnij-filter. Voor een goede kwalificatie bleek het nodig een afsnij-frequentie van ongeveer 2,5 Hz te gebruiken. Bij het verdere onderzoek werd het standaardapparaat, de EG-830, gebruikt, waarbij het filter van 25 Hz van deze glottograaf werd vervangen door een filter van 2,5 Hz.



#### 4.1            Inleiding

Op blz. 35 is reeds aangegeven waarom gebruikt gemaakt werd van een opstelling met een larynxpreparaat ten behoeve van de beoordeling van het elektroglottogram. Een groot voordeel hierbij was de lange fonatietijd en de mogelijkheid om op gemakkelijke wijze onder stroboscopisch licht de larynx te inspecteren in relatie tot het elektroglottogram (zie 4.5).

Door de verhouding te berekenen van bepaalde gedeelten van een periode van een elektroglottogram ten opzichte van de gehele periode ontstaat een quotiënt. Quotiëntberekeningen zijn reeds bekend uit onderzoeken met high-speed camera's en fotoglottografie wat betreft het zogenaamde openings- en openquotiënt (zie blz. 77). Quotiëntberekeningen van elektroglottogramcurven bij preparaten kunnen dan eventueel normaalwaarden voor het elektroglottogram opleveren (zie 4.6.2).

Allereerst zal worden ingegaan op het principe van de stroboscopie (4.2) en zullen de mogelijkheden van het stroboscopisch onderzoek worden besproken. In paragraaf 4.5 wordt de stroboscopie in relatie tot de elektroglottografie beschreven. Markante punten in het elektroglottogram worden stroboscopisch bestudeerd. In paragraaf 4.6 wordt een voorstel gedaan om tot een schematische indeling van het elektroglottogram te komen.

#### 4.2            De stroboscopie

De stroboscopie is een onderzoekstechniek bij het functie-onderzoek van de stembanden met gebruikmaking van intermitterend licht. Plateau (1829), Stampfer (1832), Oertel (1878), Husson (1932), Timcke (1955), Schönhärl (1960) en van den Berg (1962).

De stroboscopie is gebaseerd op een fysiologisch fenomeen: het netvlies heeft een positieve nasensatie, welke enige tijd aanhoudt na een lichtprikkel. Op deze wijze kunnen een aantal beeldjes per seconde een aaneengesloten beeld geven. Dit fenomeen is bekend bij de bewegende film en bij de televisie.

Principe:

- a - Valt een lichtflits van zeer korte duur telkens op eenzelfde moment in een snelle vibratiecyclus dan krijgen we een stilstaande scherpe afbeelding van dat moment (fig. 24).

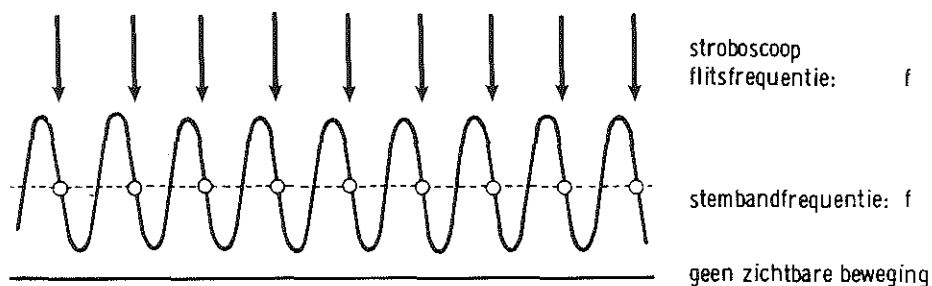


Fig. 24

Schematische voorstelling van het stroboscopische beeld. Er bestaat geen frequentieverschil tussen stembandtrilling en flitsfrequentie. Het beeld staat stil.

- b - Valt eenzelfde lichtflits als onder a telkens op een iets later moment in eenzelfde vibratiecyclus, dan ontstaat een langzaam vooruitlopend beeld, waarvan de frequentie beantwoordt aan

$$\Delta f = f - (f - \Delta f)$$

schijnbare frequentie = ware frequentie - flitsfrequentie (fig. 25)

De resultante is dus een sinus met een frequentie van  $\Delta f$ .

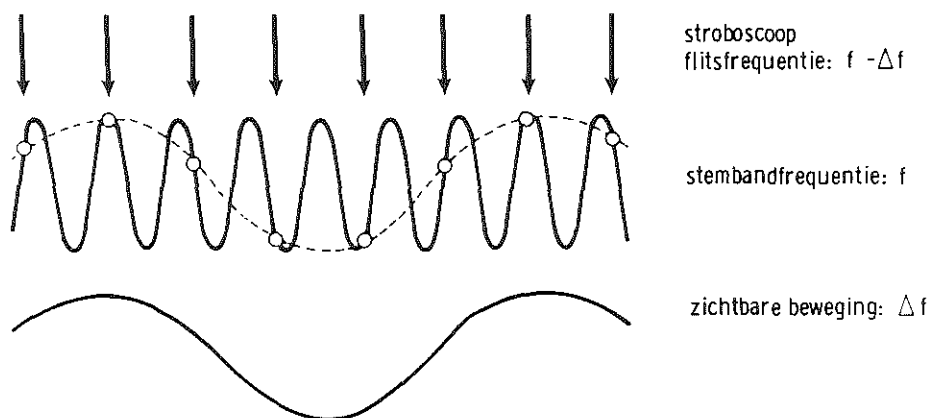


Fig. 25

Schematische voorstelling van het stroboscopische beeld. Er bestaat een klein frequentieverschil tussen stembandtrilling en flitsfrequentie. Het beeld beweegt.

c - Wanneer de flitsfrequentie groter is dan onder a dan geldt:

$$-\Delta f = f - (f + \Delta f)$$

schijnbare frequentie = ware frequentie - flitsfrequentie.

Hierbij is de schijnbare frequentie negatief en loopt het beeld terug zoals de spaken van het wiel kunnen teruglopen bij het op gang komen van het rijtuig in oude films. Deze situatie treedt bij moderne stroboscopen, welke elektronisch functioneren, niet op, omdat de flitsfrequentie altijd kleiner is dan de frequentie van de stembandbeweging.

#### 4.3 De stroboscopische beoordeling van de stembanden

Bij het bekijken van het larynxpreparaat kan men zich door het aangepaste schema van Schönhärl laten leiden (fig. 26). Wanneer men zich voorstelt, dat het elektroglottogram er uit ziet als een sinus, zoals het trillingsschema rechts in deze figuur, dan heeft men tegelijk de werkwijze langs welke de determinering van het elektroglottogram plaatsvindt.

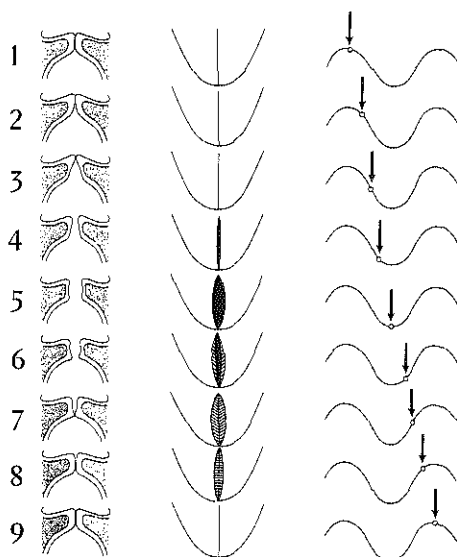


Fig. 26

De frontale stembanddoorsnede, het bovenaanzicht van de glottis en het tijdstip van de stroboscopieflits in de periode.

Modificatie naar Schönhärl (1960) en Hirano (1975) op grond van eigen waarnemingen.

Opgemerkt dient te worden dat de frontale doorsneden sterk geschematiseerd zijn en dat zij alleen getekend zijn door het midden van de glottis.

Beoordeelt men de glottis van boven af dan blijkt het oppervlak zich te wijzigen naar gelang het frequentiegebied van de voortgebrachte toon. Dit is onder andere in een analyse van ultra-snelle filmbeelden van de larynx met behulp van een computer bevestigd (Tanabe e.a., 1975).

Deelt men de glottis van het trillende preparaat in zoals in fig. 27 van a - g, dan is het oppervlak tussen de trillende bovenranden voor het borstregister schematisch zoals in fig. 27A.

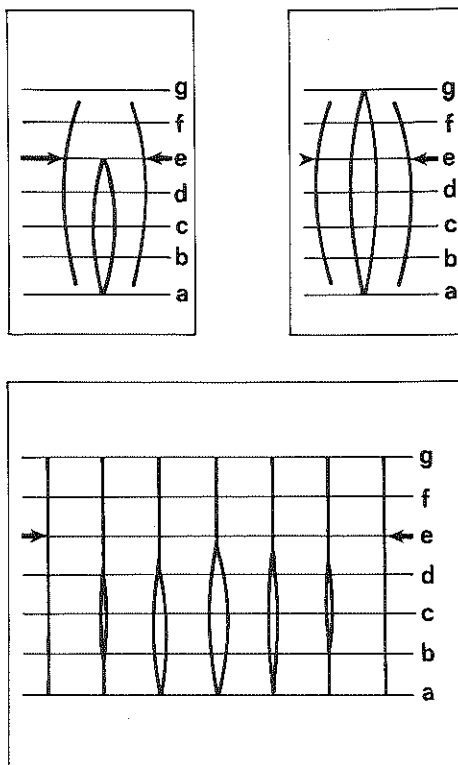


Fig. 27

Verschillende configuraties van de glottis afhankelijk van de mediaanwaartse kracht (MWK) en de trekkracht (T). Bij e staan de klampjes van de pincetconstructie. In A is er een MWK, in B is er géén MWK, in C is er een MWK en een T. De verlenging van de glottis door T in afbeelding C is niet weergegeven.

De processus vocales liggen bij e, waar ook de pincetklampjes van de opstelling staan. De allerlaagste tonen in het borstregister kunnen geproduceerd worden in de configuratie volgens fig. 27 B, waarbij de pars intercartilaginea ook open staat. De MWK is dan nul. De hoogste tonen, zoals in het falsetregister geproduceerd, hebben glottisoppervlakken zoals in fig. 27 C. De afstand a - e wordt daarbij in de open fase niet altijd benut. Er is een sterke mediale compressie. De verlenging van de stembanden is in deze laatste figuur echter niet ingetekend.

Doordat in de frequentie-omvang ook de stembanddikte verandert, wijzigt zich het glottisoppervlak naarmate de frequentie verandert. Bij het preparaat vindt de oppervlaktewijziging sprongsgewijs plaats met een zogenoemde toonsprong of registersprong (Tan, 1960).

#### 4.4 Het fotograferen van de stembandtrilling met behulp van stroboscopie

Om de faserelatie tussen de snelle stembandbeweging en het elektroglottogram vast te leggen kan de glottis van het preparaat op verschillende tijdstippen gefotografeerd worden. Volgens de schakeling in fig. 28 wordt een elektronenflitsers door de stroboscoop gestuurd, terwijl de elektroglottograaf de stroboscoop stuurt. De stroboscoopflitsen vallen binnen de sluitertijd van de fotocamera. Fig. 29 is uit deze foto's samengesteld.

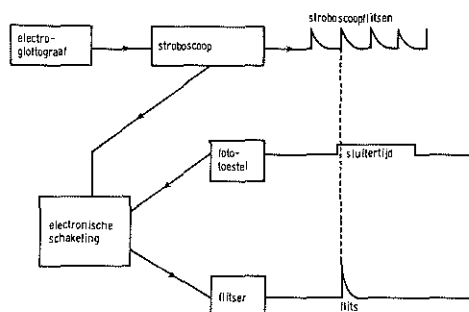


Fig. 28

Schematische voorstelling van de foto-opnamen voor fig. 29 in verband met de synchronisatie van stroboscoopflits, foto-flits en sluitertijd.

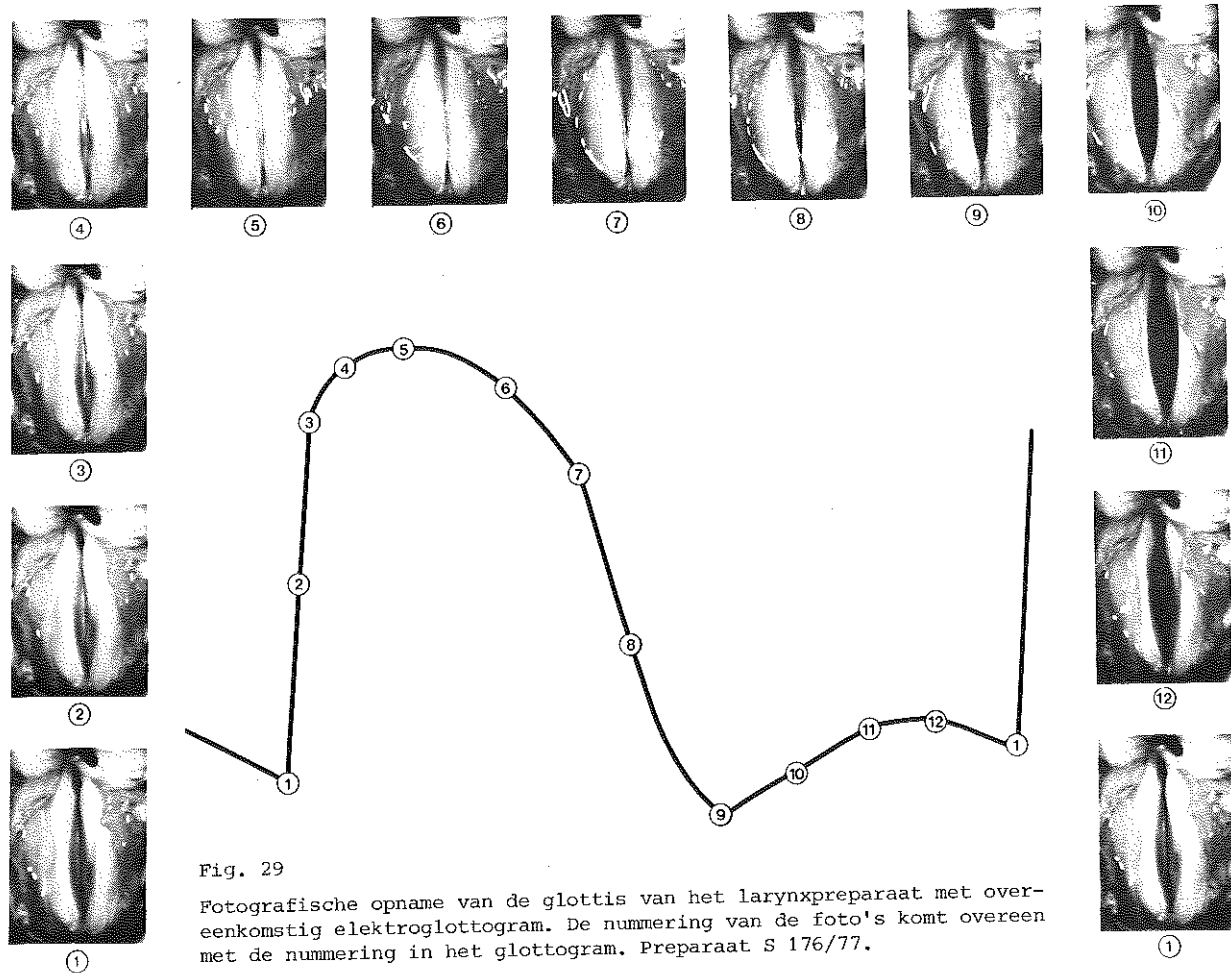


Fig. 29

Fotografische opname van de glottis van het larynxpreparaat met overeenkomstig elektroglottogram. De nummering van de foto's komt overeen met de nummering in het glottogram. Preparaat S 176/77.

## 4.5 Gecombineerd elektroglottografisch en stroboscopisch onderzoek

### 4.5.1 De faserelatie tussen het glottogram en de stembandbeweging

Fig. 29 toont het elektroglottogram tezamen met de in overeenkomstige fasen opgenomen foto's van een larynxpreparaat.

In deze paragraaf zal nauwkeurig worden ingegaan op de overeenkomstige tijdstippen bij stroboscopie en elektroglottografie bij het inspecteren van de stembandbeweging van het trillende larynxpreparaat. Daartoe zijn markante punten in het elektroglottogram genummerd van I-VI.

- Punt I · Op dit punt komt er na een open periode in het subglottisch gebied op een of andere plaats een hernieuwd contact tussen beide slijmvliesoppervlakken. Meestal zal dit achter-onder zijn, doch ook komt het middegebied of het voorste eenderde deel (anatomisch benoemd) in aanmerking. Reeds het allervluchtigste contact tussen beide stembanden geeft aanleiding tot een snelle impedantie-afname.
- Punt II Op dit tijdstip ziet men stroboscopisch, dat de contactlijst van voor tot achter gesloten is. Het donkere vlak dat de subglottische ruimte markeert is verdwenen. Men ziet evenwel het grootste deel van het mediale stembandvlak nog trogvormig geopend. Veelal is dit mediale vlak concaaf gevormd.
- Punt III Op dit punt bestaat er een impedantieminimum van het elektroglottogram. Stroboscopisch is de trog verdwenen. De stembanden tonen een betrekkelijk vlak, aaneengesloten craniaal oppervlak. De typische opgeworpen randlijst, welke we kennen uit high-speed opnamen en stroboscopische waarnemingen van de levende larynx, is bij het preparaat niet altijd aanwezig. In het borstregister, het laagste bereik van het preparaat, kan men soms een licht opgeworpen rand herkennen. Deze craniale lijst is altijd smal gevormd.
- Punt IV Dit tijdstip is in het elektroglottogram als een lichte knik te herkennen op de minst steile flank, alwaar stroboscopisch een allereerste begin van opengaan wordt geconstateerd. De openingsfase wordt in-

gezet. Dit opengaan wordt frequenter in het voorste dan in het achterste gedeelte van de glottis gevonden. Wanneer men door deze opening in de diepte kijkt, valt het op dat de subglottische partij in de schaduw ligt en niet te zien is. Naar alle waarschijnlijkheid bevindt het subglottische gedeelte zich lateraal van de openingsrand.

Vaak moet men naar de knik op de daalflank even zoeken. Onder stroboscopisch licht vindt men echter altijd de overeenstemming in het elektroglottogram met het openingsmoment door te letten op het zwarte lijntje, dat de beginnende opening markeert. De knik op de daalflank is het meest uitgesproken in het borstregister. In het borstregister ligt de knik in de omgeving van het midden van de daalflank. In het falsetregister ligt het praktisch tegen de top aan. Over de juiste plaats wordt onder 'Berekeningen' ingegaan.

punt V Op dit tijdstip is de glottis open, doch heeft nog niet haar grootste diameter. Het glottisoppervlak (glottal area) heeft wel een belangrijke toename in de lengte gekregen, doch niet in de breedte.

punt VI Onder stroboscopisch licht ziet men op de helft van de basislijn de maximale glottiswijdte. Op dit punt ziet men aan de subglottische zijde de onderzijde van het contactvlak weer naar mediaan gaan. De allereerste aanraking van de oppervlakken vindt echter pas weer plaats op punt I.

Nu puntsgewijs op tevoren gemarkeerde tijdstippen het elektroglottogram is vastgelegd met het stroboscopisch vertraagde beeld en dit ook in foto's is verduidelijkt, worden de 'trajecten' besproken.

#### Trajecten:

I-II Het allereerste contact dat ontstaat op tijdstip I wordt naar tijdstip II uitgebreid tot een volledige sluiting van hoofdzakelijk het subglottische gebied. De trogvormige glottisopening naar proximaal blijft echter nog open staan. Er kan evenwel niet meer naar de subglottische ruimte gekeken worden.

II-III In dit gebied vult de V-vormige ruimte zich op. Wij noemen dit het oprollen door de voortlopende golfbeweging. Deze beweging wordt op tijdstip III niet gestopt of van patroon veranderd. De top van de curve bij tijdstip III betekent een minimale impedantie. Dit is stroboscopisch aan de hand van het verloop van het contact echter niet te demonstreren.



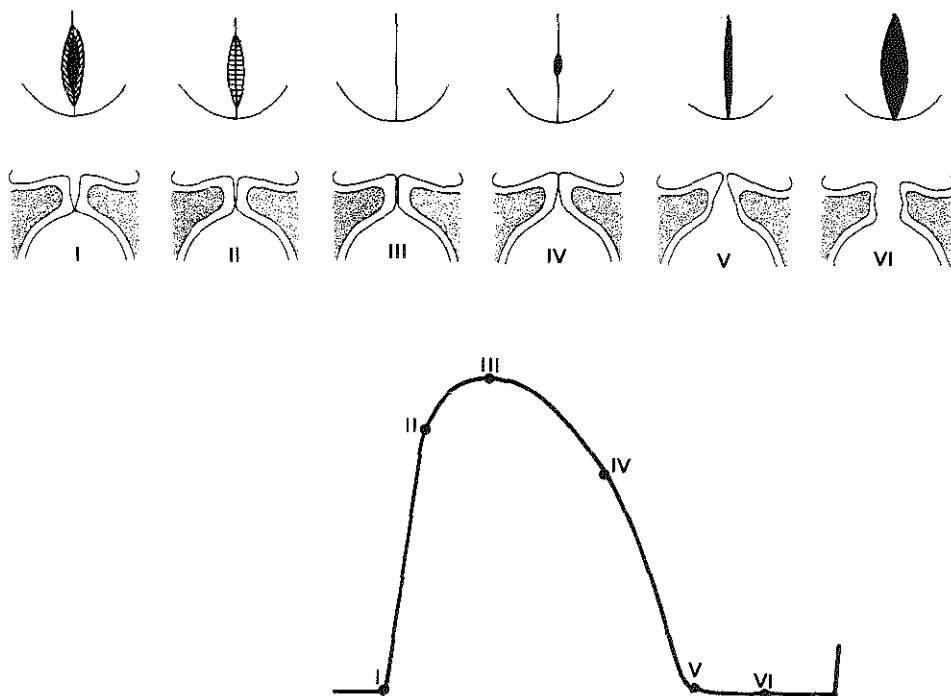


Fig. 30

De definitie van het elektroglottogramsignaal in het borstregister.

Boven : schematische stroboscopische beelden van de bovenzijde van de glottis.

Midden : frontale stembanddoorsneden op hetzelfde moment als het stroboscopisch beeld.

De nummers I-IV komen overeen met de nummering in de onderste figuur, het schematische elektroglottogram.

III-IV De golfbeweging zet zich verder voort en rolt naar lateraal over de bovenvlakte van de ware stembanden weg. Men kan fraai de rimpel volgen ('Randkantenverschiebung', Schönhärl, 1960). De glottis blijft echter gesloten. Er kan nog geen licht door de glottis naar de subglottische ruimte vallen.

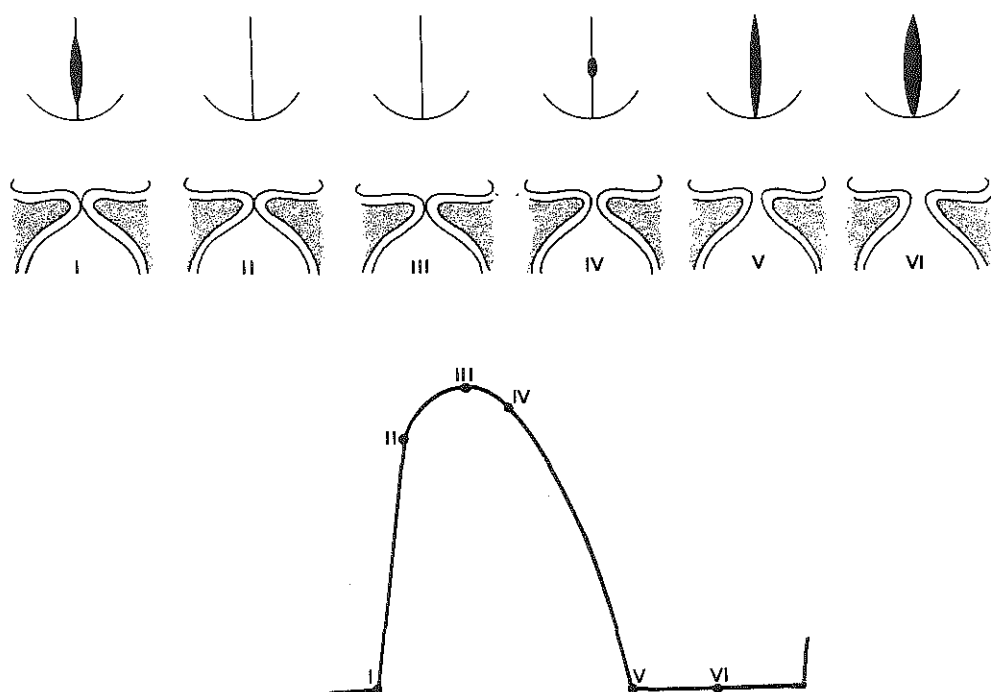


Fig. 31

De definitie van het elektroglottogramsignaal in het falsetregister.

Boven : schematische stroboscopische beelden van de bovenzijde van de glottis.

Midden : frontale stembanddoorsneden op hetzelfde moment als het stroboscopische beeld.

De nummers I-VI komen overeen met de nummering in de onderste figuur, het schematische elektroglottogram.

IV - V Na een minimale opening op tijdstip IV verwijdt de glottis zich vooral in de lengterichting in de tijd, welke bij deze fase hoort. De verbreding van de glottisopening vindt echter plaats in het daaropvolgende gedeelte: V-VI.

V - VI Met een maximum op ongeveer de helft van de afstand V-I is in het gebied V-VI de glottis zich aan het verbreden en is op haar widest op punt VI.\*

\* Punt VI wordt verder niet meer in de berekeningen betrokken, omdat het elektroglottografisch niet aantoonbaar is.

Daarna ziet men stroboscopisch de subglottische ruimte in diameter weer kleiner worden door de elkaar naderende onderzijden van de stembanden. Vervolgens herhaalt de cyclus zich.

Wanneer er een centrale glottisspleet blijft bestaan en de contactverschijnselen zich afspelen in de voorste en achterste commissuur zien we een sterk symmetrisch elektroglottogram met een relatief kleine amplitude.

In een tweetal schematische overzichten hebben we de stroboscopische bevindingen samengevat, voor het borstregister in fig. 30 en in fig. 31 voor het falsetregister. Beide figuren laten aanzichten van boven en frontale doorsneden van de stembanden zien samen met het elektroglottogram. De doorsnede schetst de situatie in het midden van de glottis.

#### 4.5.2 De definiëring van de curvevorm

Het larynxpreparaat blijkt in het lage tonenbereik een elektroglottogram te geven, dat een grote mate van overeenkomst vertoont met het elektroglottogram gemaakt bij levende proefpersonen (Lecluse, 1974; Lecluse e.a., 1975). Het elektroglottogram heeft in het borstregister en in het falsetregister een symmetrische vorm.

Veel discussie vindt men in de literatuur betreffende elektroglottografie over het verband tussen het elektroglottogram van het borstregister en de stembandbeweging. Met name worden dikwijls vage begrippen als 'open' en 'gesloten' gebruikt.

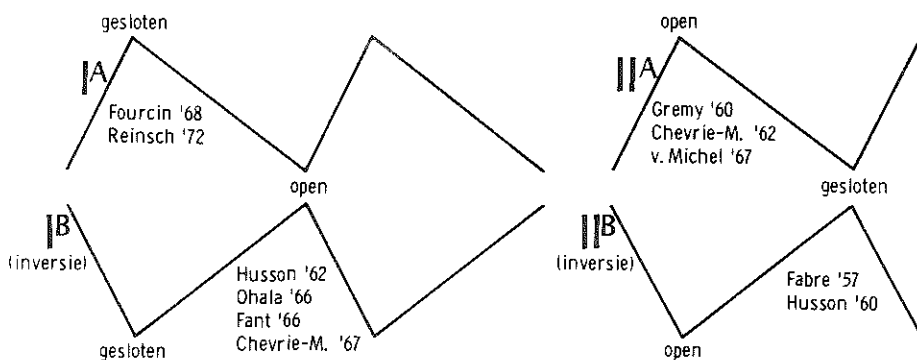


Fig. 32 - De definitie van het elektroglottogram door verschillende auteurs. Eigen definitie conform I<sup>A</sup>.

In fig. 32 wordt de zienswijze van een aantal auteurs schematisch weergegeven.

Twee basisvormen worden gesuggereerd:

$I^A$  en de geïnverteerde vorm  $I^B$  definiëren de sluiting als de top, welke na de steile elektroglottogramflank optreedt.  $II^A$  en  $II^B$  definiëren de opening als de top, welke na de steile elektroglottogramflank optreedt.

Onafhankelijk van Reinsch (1972) en Fourcin (1974) was onze conclusie (1975) dat het elektroglottogram op grond van stroboscopisch onderzoek volgens model  $I^A$  of  $I^B$  gedefinieerd moet worden. Om de definitieproblemen, welke voortkomen uit de invertering van het signaal, te vermijden werd in 1974 met beide onderzoekers afgesproken het elektroglottogram te definiëren volgens de vorm in fig. 32,  $I^A$ . Later sloten zich hierbij aan Kitzing (1975) en Van Michel (1977).

Trendelenburg en Wullstein (1935) vonden met hun 'Schattenschriftmethode' \* met menselijke en kalfsstrottenhoofden een symmetrische vorm van de laterale beweging in de openingsfase en de mediale beweging in de sluitingsfase. Beide bewegingen verliepen dus even snel.

Hartmann en Wullstein (1938) verrichtten dezelfde proeven doch nu werd het doorvallend licht via de glottis van menselijke en kalfslarynxen geregistreerd met een fotocel. De golfvorm was nog sterk sinusoïdaal, maar de openingsfase verliep geleidelijker dan de sluitingsfase. Hogere fonatiefrequenties werden gekarakteriseerd door een relatieve verkorting van de openingsfase, terwijl de sluiting relatief gezien van dezelfde duur bleef.

Timcke e.a. (1958) concludeerden op grond van acht waarnemingen, dat in het borstregister de opening sneller verloopt dan de sluiting. Met andere woorden, besluit hij, is de lateraalwaartse beweging van de stembanden sneller dan de terugkeer naar de middenpositie.

Sonesson (1960) vond met de fotoglottografie nauwelijks een asymmetrische pulsvorm voor het borstregister.

Miller (1959) vond met inverse filtering van akoestische signalen wel een asymmetrische pulsvorm, terwijl ook de computeranalyse van de glottiswijdte (Tanabe, 1975) bij high speed filmopnamen een licht asymmetrische pulsvorm liet zien. In beide gevallen verliep de sluiting sneller dan de opening. Dit begrip vindt men onder meer terug in het 'speedquotiënt', door sommige auteurs gebruikt.

Dat er een asymmetrische golfbeweging wordt gevonden is fysiologisch niet vreemd. De stembandtrilling verloopt complex (zie blz. 12). Voor het borstregister

\* Schattenschrift: registratiemethode met lichtgevoelig papier op een roterende trommel.

kan men stellen dat de luchtstroom naar buiten tijdens de fonatie zorgt voor aanzuiging en sluiting van de stembanden door het Bernoulli-effect. Zijn de stemplooien met elkaar in contact gekomen dan ontstaat er een demping van de mediaanwaartse beweging (Titze, 1976). De stemplooien zijn niet samendrukbaar maar wel vervormbaar. De deformatie, welke optreedt, is stroboscopisch zichtbaar als de rimpel, welke eerst naar boven en dan naar lateraal over het stembandoppervlak loopt. Juist bij de preparaten, welke de valse stembanden immers missen, is dit zeer goed zichtbaar. De randspanning van de gesloten stemplooien, welke bepaald wordt door visco-elastische krachten, zal zorgen voor een lateraalwaartse uitwijking, mede daarin geholpen door de oplopende subglottische druk. Deze buitenwaartse beweging wordt echter tegengewerkt door de weer toenemende snelheid van de passerende luchtstroom. Door al deze factoren zal de beweging naar buiten langzamer verlopen dan de beweging naar binnen. De sluitingsfase van de snelle stembandtrilling in het borstregister zal derhalve een sneller verschijnsel zijn dan de openingsfase. Dit past in de golfvorm van het elektroglottogram volgens de definitie in fig. 32 I<sup>A</sup> en I<sup>B</sup>.

Wanneer men bij de proeven met een preparaat de toon gaat verhogen door een thyreoïdhoektractie in te stellen, neemt men op een bepaald moment een toonsprong waar. Wanneer ook de klankkleur daarbij met de voorgaande tonen verschilt, noemt men dit een registersprong (zie blz. 156). Bij een dergelijke registersprong nemen we tegelijkertijd een verandering van het elektroglottogram waar. Hoewel dit aanvankelijk in het lagere tonenbereik een asymmetrische configuratie had, wordt de vorm nu meer symmetrisch. Tegelijk neemt de amplitude af. Fysiologisch kan dit als volgt verklaard worden. In dit zogenaamde falsettoregister is de randspanning van de ligamenta vocalia beduidend groter geworden, waardoor het aanzuigend effect van de snellere luchtstroom door de glottis niet zo groot zal zijn als in het borstregister, waar de randspanning van de ligamenten kleiner is. Hierdoor zal de falsettovibratie een meer symmetrisch gebeuren zijn. Op deze wijze is het elektroglottogram van het falsetregister een reële afspiegeling van de fysiologische vibratie in het hoge register.

Fig. 33 laat elektroglottogrammen zien van het borstregister en het falsetregister, respectievelijk 83 Hz en 257 Hz (larynxpreparaat L7). Om de specifieke vormverschillen tussen de twee registers tot uitdrukking te laten komen werden de amplitudes aan elkaar gelijk gemaakt. De amplitude van het falsetto is in feite kleiner.

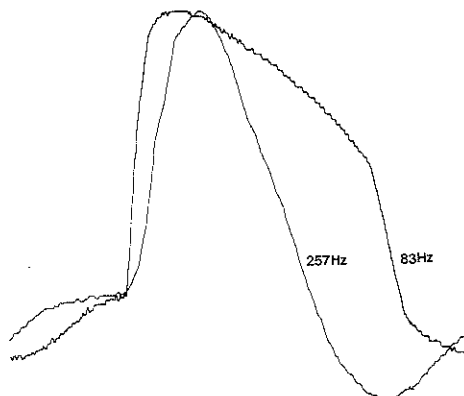


Fig. 33

Larynxpreparaat L7. Glottogrammen op 83 Hz en 257 Hz.

Bij beschouwing van de vibratie in het falsetregister vallen twee trillingsvormen op:

- a - Bij iedere golfbeweging komen de ligamenta vocalia nog tegen elkaar: 'closed chink mechanism' (Rubin, 1960): er is altijd een moment waarop de stembanden even gesloten zijn.
- b - Bij het opvoeren van de trekkracht ( $T$ ), dus bij stembandverlenging, kan er ook een minder intensief contact tussen de stembandoppervlakken plaatsvinden. Niet tijdens iedere cyclus zal de glottis een fase van totale sluiting vertonen: 'open chink mechanism' (Rubin, 1960).

Wordt de trekkracht verder opgevoerd dan ontstaat er echter een moment waarop de glottis definitief open blijft. Het elektroglottogramsignaal verdwijnt dan abrupt. De fonatie blijft bestaan. Dat wil zeggen dat er zonder stembandcontact géén elektroglottogram ontstaat.

#### 4.6 Het berekenen van de trajecten

##### 4.6.1 Definiëring van de quotiënten

De stroboscopisch gevonden trajecten binnen het elektroglottogram verschillen absoluut gezien per larynxpreparaat. Om deze intervallen beter te kunnen analyseren wordt het begrip quotiënt als relatieve waarde ingevoerd. Daarvoor wordt de verhouding van het interval tot de periode bepaald.

Het begrip quotiënt is in de larynxfysiologie niet nieuw. Het werd als 'Oeffnungsquotient' veelal gedefinieerd als:

$$\frac{\text{de tijd waarin de glottis open is}}{\text{totale trillingstijd}}$$

De hieronder vermelde auteurs berekenden dit quotiënt via verschillende meettechnieken:

- Trendelenburg (1935) : analyse van gefilterde klankcurven van vocalen.
- Luchsinger & Pfister (1954, 1958) : analyse van high-speed films.
- Timcke (1956, 1957) : synchroon-stroboscopie.
- Timcke, von Leden en Moore (1958, 1959 en 1960) : analyse van high-speed films.
- Sonesson (1960) : fotoglottografie.
- Reinsch en Gobsch (1972) : elektroglottografie.

De volgende indeling wordt bij de hierna volgende berekeningen gebruikt (fig. 34):

Traject	Tijdsinterval	Quotiënt
I - II	sluitingstijd	sluitingsquotiënt ( $S_q$ )
I - III	maximale sluitingstijd	maximale sluitingsquotiënt ( $S_{q_t}$ )
II - IV	gesloten tijd	gesloten quotiënt (Gesl. q)
IV - V	openingstijd	openingsquotiënt ( $O_q$ )
V - I	open tijd	open quotiënt (Open q)

Tevens worden er twee relatieve amplitudes berekend (fig. 34). De absolute amplitudes  $A_1$  en  $A_3$  zijn minder bruikbaar. Immers de hoogte van het glottogram wordt mede bepaald door de stand van de larynx ten opzichte van de elektroden. Wanneer bij frequentieveranderingen de larynxpositie verandert, kan dit merkbaar zijn in de absolute amplitude van het glottogram. Bepalen we nu het quotiënt tussen de sluitingsamplitude ( $A_1$ ) en de totale amplitude ( $A_1 + A_3$ ) dan hebben we

een maat voor de sluitingsamplitude, welke onafhankelijk is van de absolute glottogramhoogte.

De relatieve amplituden zijn:

$$\text{Relatieve sluitingsamplitude } A_{rel_s} = \frac{A_1}{A_1 + A_2}$$

$$\text{Relatieve openingsamplitude } A_{rel_o} = \frac{A_1 + A_2 - A_3}{A_1 + A_2}$$

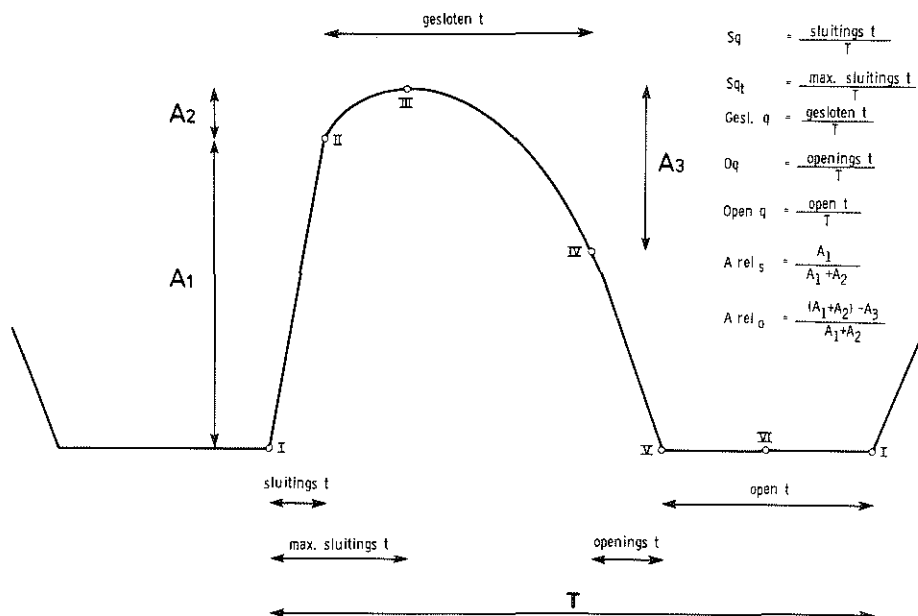


Fig. 34

Schematisch elektroglottogram (borstregister).

De quotiënten en de amplitudeverhoudingen worden rechts in de figuur gedefinieerd.



Daarnaast wordt het relatieve oppervlak van de elektroglottogramcurve berekend als  $Or$ , omdat dit een objectieve maat is voor het totale contact van de stembanden. De verklaring van de relatieve maat voor het oppervlak is in feite gelijk aan wat hiervoor beschreven is voor de amplitudes.

In de proefnemingen zullen ook oppervlakken van elektroglottogrammen bij verschillende frequenties vergeleken worden. Door het oppervlak van het elektroglottogram ten opzichte van de omhullende rechthoek te bekijken is dit oppervlak in amplitude en periode genormeerd en zijn mogelijk aanwezige karakteristieke vormveranderingen in het frequentiebeloop beter te overzien. De berekening van dit zogenaamde relatieve oppervlak verloopt als volgt (fig. 35):

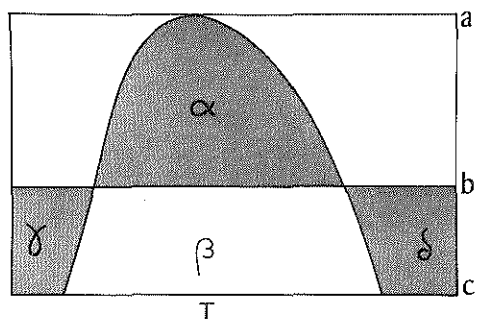


Fig. 35

Schema van de berekening van het relatieve oppervlak ( $Or$ ) van het elektroglottogram.

Relatief Oppervlak ( $Or$ ) =

$$\frac{\text{opp.}\alpha + \text{opp.}\beta}{T(ab + bc)} = \frac{\text{opp.}\alpha + Tbc - (\text{opp.}\gamma + \text{opp.}\delta)}{T(ab + bc)}$$

De gemiddelde waarde wordt aan nul gelijk gemaakt door middel van de PDP 8 E computer. Hierdoor is  $\text{opp.}\alpha$  gelijk aan  $\text{opp.}\gamma + \text{opp.}\delta$

$$\text{Relatief oppervlak } (Or) = \frac{\text{opp.}\alpha + Tbc - \text{opp.}\alpha}{T(ab + bc)} = \frac{bc}{ab + bc}$$

- De berekeningsprocedure van het quotiënt verloopt verder op twee manieren:
- a - Nadat het elektroglottogramsignaal is opgeslagen in een instrumentatierecorder (Bell en Howell), wordt het elektroglottogram ingelezen middels een 'interface' (Bio-mac) op een PDP 8 E computer (fig. 36).

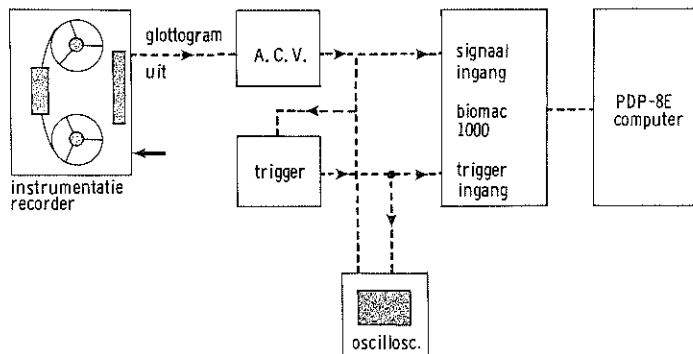


Fig. 36

Blokschema van de verwerking van het elektroglottogramsignaal.

Door middel van een 'start-trigger' en een 'stop-trigger' wordt één totale periode ingelezen. Met behulp van een automatische amplitude-regeling worden de elektroglottogrammen op elkaar aangepast ten behoeve van de interface, zodat deze niet overstuurd wordt. Eén periodetijd wordt uitgeschreven in 512 punten.

- b - Het is ook mogelijk het signaal van de instrumentatierecorder rechtstreeks in te lezen op de computer. Een nadeel van deze procedure is dat het elektroglottogram op elk willekeurig moment wordt afgebroken wegens de eigenschap van de computer om het geheugen geheel te willen volschrijven tot 1024 punten.

Nadat het glottogram in 512 punten is opgedeeld kunnen door middel van 2 'cursors' (markeerders), welke elk verplaatsbaar zijn, 2 punten in het elektroglottogram worden opgezocht. Een bepaald quotiënt komt tot stand door het aantal punten tussen de 2 cursors te delen door 512. Door gebruikmaking van de cursors kunnen tevens de relatieve amplitudes en het relatieve oppervlak worden bepaald.

De beschreven analyses zijn uitgevoerd op 7 larynxpreparaten: L1 - L7. Bij preparaat L3 trad echter geen stembandsluiting op waardoor er geen glottogram ontstond. Dit preparaat is daarom niet bij de analyses betrokken.

#### 4.6.2 Resultaten

In figuur 37 zijn de elektroglottogrammen van larynxpreparaat L7 uitgeschreven, gemeten tussen 83 Hz en 360 Hz. Op deze wijze krijgt men een indruk

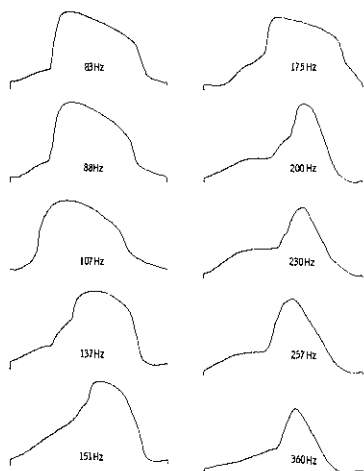


Fig. 37

Larynxpreparaat L7. Elektroglottogrammen op tien frequenties tussen 83 Hz en 360 Hz.

van de vormvariaties van het elektroglottogram van dit preparaat. De elektroglottografisch meetbare frequenties lagen voor alle geanalyseerde preparaten tussen 70 Hz en 360 Hz.

In figuur 38 zijn de glottogrammen bij 83 Hz en 257 Hz voor preparaat L7 over elkaar geprojecteerd.

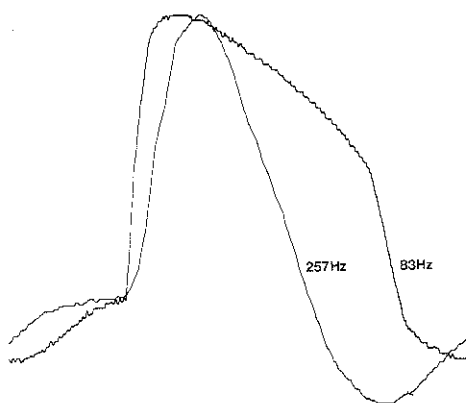


Fig. 38

Larynxpreparaat L7. De vorm van het borstregister wordt getypeerd door 83 Hz, de vorm van het falsetregister door 257 Hz.

Van de zes preparaten (L1-L2 en L4-L7) zijn de resultaten van de quotiëntberekeningen uitgezet tegen de frequentie. De relatieve waarde is op de Y-as lineair uitgezet. De frequentie is op de X-as logaritmisch genoteerd.

De volgende quotiënten worden bepaald (fig. 34):

- het sluitingsquotiënt ( $S_q$ ) in fig. 39
- het maximale sluitingsquotiënt ( $S_{q_t}$ ) in fig. 40
- het gesloten quotiënt ( $Gesl.q$ ) in fig. 41
- het openingsquotiënt ( $O_q$ ) in fig. 42
- het open quotiënt ( $Open.q$ ) in fig. 43
- het relatieve oppervlak ( $Or$ ) in fig. 44
- de relatieve sluitingsamplitude ( $Arel._s$ ) in fig. 45
- de relatieve openingsamplitude ( $Arel._o$ ) in fig. 46.

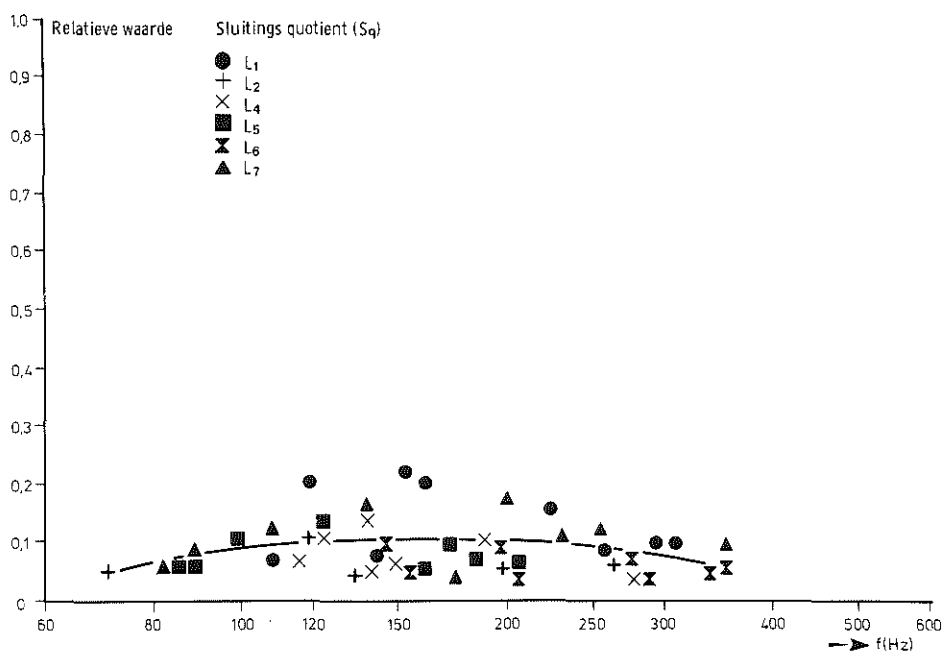


Fig. 39 Het sluitingsquotiënt van zes larynxpreparaten.

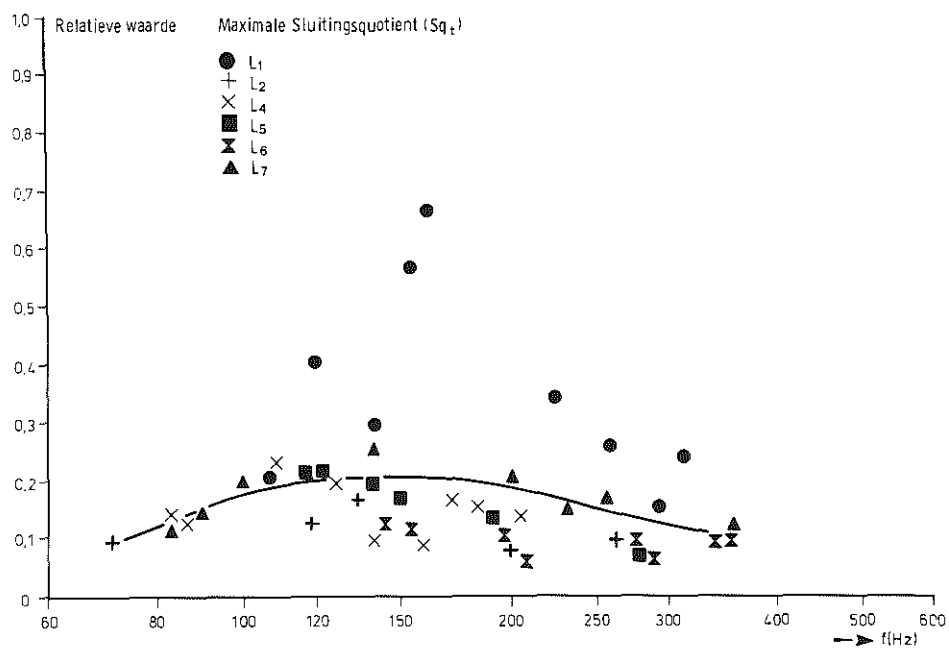


Fig. 40 Het maximale sluitingsquotiënt bij zes larynxpreparaten.

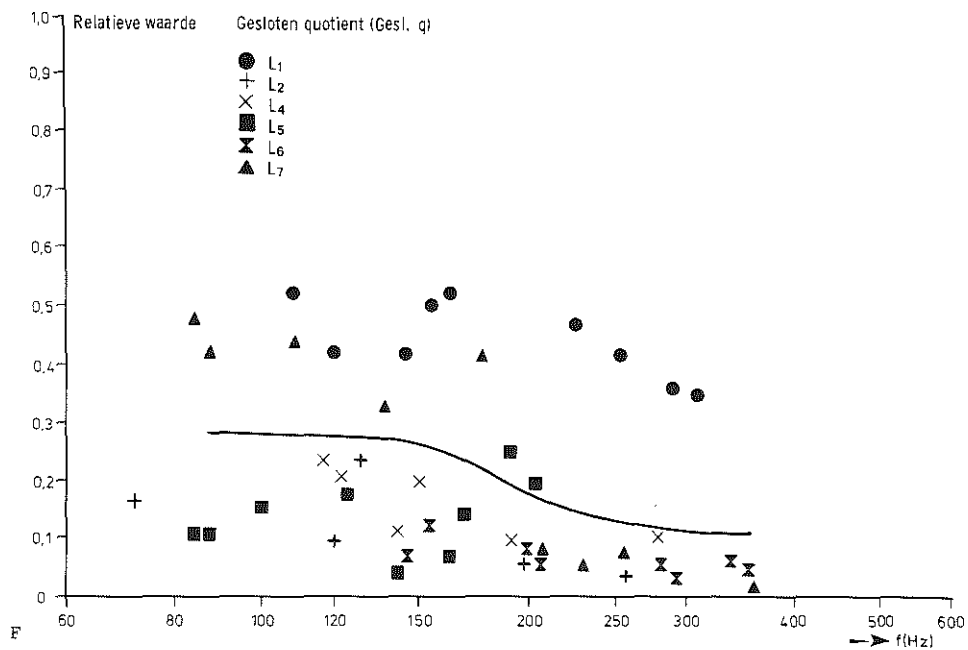


Fig. 41 Het gesloten quotiënt bij zes larynxpreparaten.

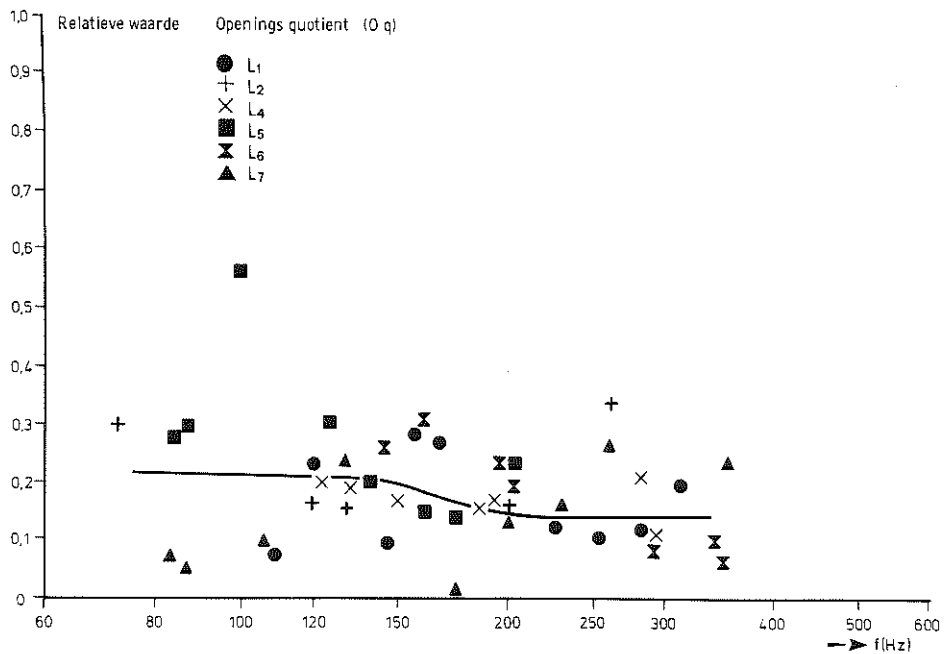


Fig. 42 Het openingsquotiënt bij zes larynxpreparaten.

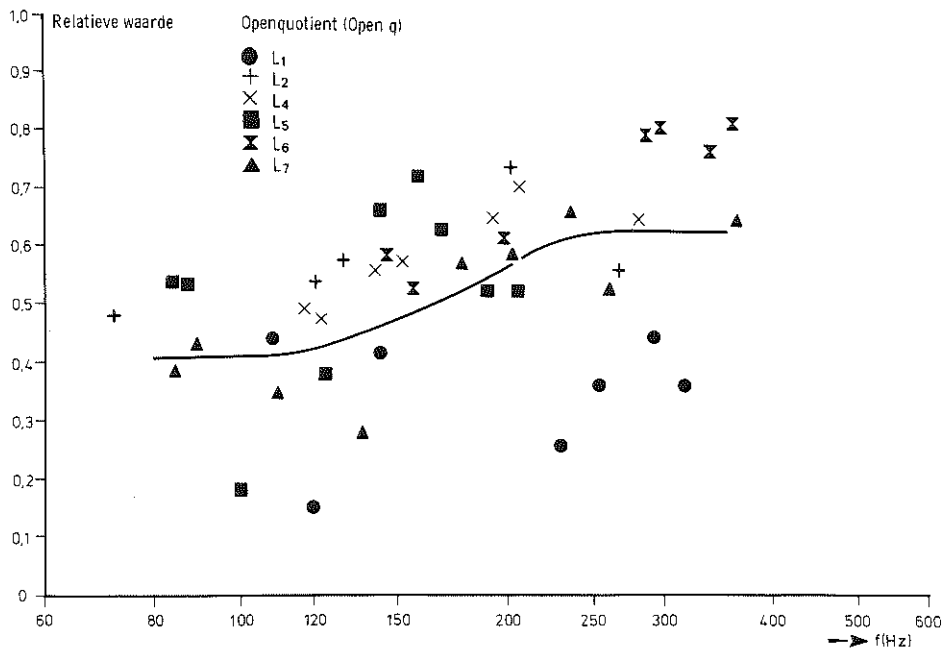


Fig. 43 Het open quotiënt bij zes larynxpreparaten.

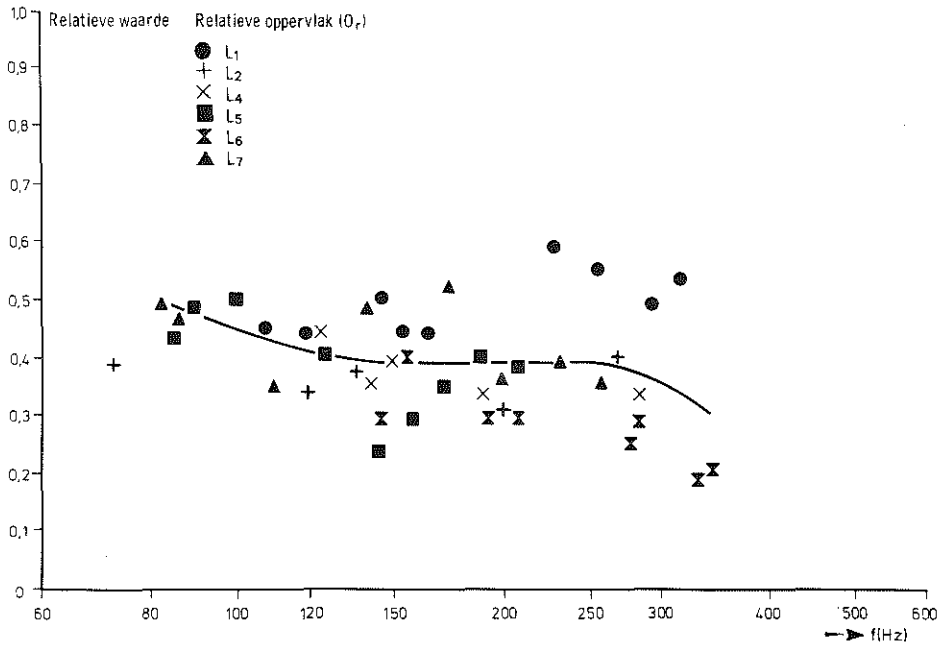


Fig. 44 Het relatieve oppervlak bij zes larynxpreparaten.

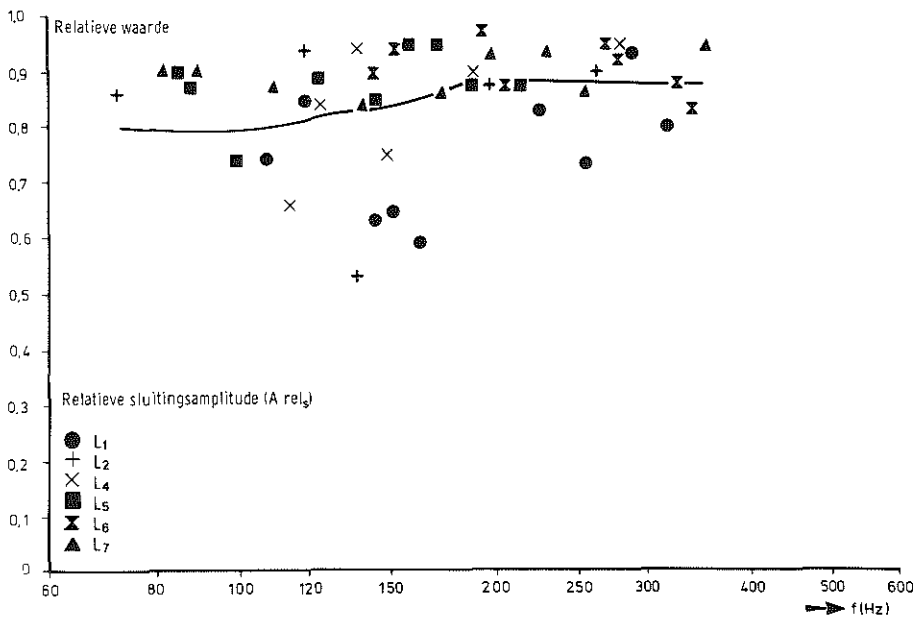


Fig. 45 De relatieve sluitingsamplitude bij zes larynxpreparaten.

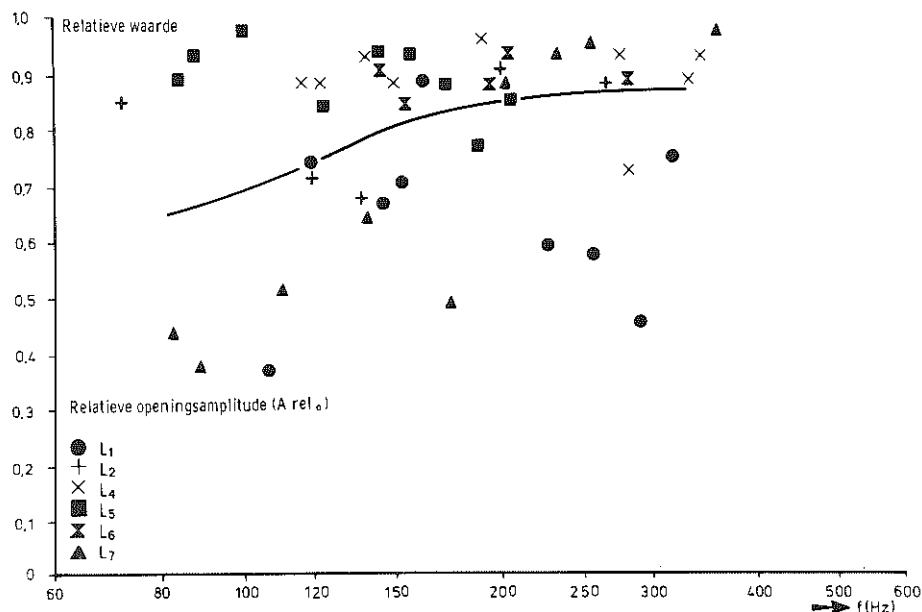


Fig. 46 De relatieve openingsamplitude bij zes larynxpreparaten.

#### 4.6.3 Discussie

Hetgeen onmiddellijk opvalt bij het bezien van de meetresultaten, verkregen aan zes menselijke strottenhoofden is de vrij grote spreiding in de meetpunten, vooral in de figuren 40, 41, 43 en 46. In de andere diagrammen is dit minder sterk. Worden meer larynxpreparaten gemeten, dan verandert de spreiding niet. Toch werd getracht de meest waarschijnlijke lijn te bepalen, door de meetpunten rond de meest nabij gelegen frequentie te groeperen en dan het gemiddelde te berekenen. Men kan een preparaat niet altijd precies op een gewenste frequentie laten foneren omdat de frequentie afhankelijk is van flow, druk, MWK en T. Deze parameters zijn onderling afhankelijk en vragen voor een goede geluidskwaliteit van het preparaat een bepaalde regeltechniek, die niet altijd de gewenste frequenties oplevert.

Vermoedelijk is de grote spreiding in de berekening van de quotiënten afhankelijk van de vrij beperkte nabootsing van de menselijke fonatie met een larynxpreparaat. Er is evenwel voor de quotiënten in de figuren 39, 42, 44 en 45 een zekere tendens naar een lineair en betrekkelijk ongevoelig verband, terwijl de andere quotiënten in de figuren 40, 41, 43 en 46 onmiskenbaar een frequentie-



afhankelijkheid tonen. In deze laatste figuren gaat het quotiënt bij ongeveer 150 Hz duidelijk in waarde veranderen. Dit is de frequentie, die door van den Berg (1968) de subharmonische werd genoemd van de resonantiefrequentie van het subglottische systeem (zie blz. 22).

Biedt het larynxpreparaat dus uitstekende mogelijkheden voor de determinering van bepaalde tijdstippen binnen het elektroglottogram, het lijkt een te grove nabootsing van het verfijnde mechanisme der stembandvibratie in vivo te geven. Oorzaken kunnen zijn het ontbreken van het feed-back systeem binnen de larynx en het wegvallen van beïnvloeding door de extralaryngeale musculatuur (Sonninen, 1956 en Zenker, 1958).

De vraag doet zich voor of ook binnen het preparaat foutenbronnen aangetoond kunnen worden, die verantwoordelijk zijn voor spreiding in de quotiënten, ondanks het feit dat aan de eisen, gesteld aan de meetopstelling, is voldaan.

Gedraagt een preparaat, dat uit dood weefsel bestaat en dat niet wordt omspoeld door voedingsmedia, zich wel zo gelijkmatig en duurzaam als in een voorstudie (Lecluse en Brocaar, 1974) werd verondersteld? Dit gedrag wordt voornamelijk door de elasticiteit bepaald. Hiervan nemen de ligamenta vocalia 80 % voor hun rekening (Tan, 1960). De ligamenten liggen direct onder het stemband-epitheel en kunnen derhalve met het stembandcontactvlak geïdentificeerd worden.

In de hieronder volgende proeven zal worden nagegaan of onder invloed van trekkracht de mechanische eigenschappen zich wijzigen. Is dit het geval, dan betekent dit ook een wijziging in het veronderstelde constante gedrag van het preparaat gedurende de proefneming en derhalve een wijziging in het elektroglottogram.

#### 4.7 Statische rekproeven

##### 4.7.1 Inleiding

Betrekkelijk weinig is er bekend over het gedrag van de menselijke stembanden bij rek of trek. Aan levend weefsel is dit moeilijk na te gaan. Bij stembanden van larynxpreparaten is het regelende spiersysteem van de m. vocalis weggevallen. Het spierweefsel is wegens de grote zuurstofbehoefte snel ten prooi aan de autolysis. Stijfheidstoename treedt op door toenemende melkzuurconcentraties in de spier. Dit is de rigor mortis. Daarentegen blijft het ligamentum vocale redelijk geconserveerd. Volgens Tan (1960) vangen de ligamenta vocalia van het stembandcomplex 80-83% van de longitudinale rek op, die op de thyreoïdhoek wordt uitgeoefend. In de levende stemplooi is dat natuurlijk anders. Dwars-gestreept spierweefsel, zoals in de m. vocalis aanwezig, brengt géén grotere

spanning teveeg dan  $0,5 \text{ N/mm}^2$  ( $50 \text{ gram/mm}^2$ ). Dit is echter voldoende om in vivo een forse tegenkracht op te brengen, die tegengesteld is gericht. Bij de levende mens wordt de stemband niet langer dan de fonatietijd (max. 35 sec.) belast. Bij het larynxpreparaat wordt juist van de relatief onbeperkte fonatietijd gebruik gemaakt. Zodoende foneert een larynxpreparaat vaak onder een longitudinale contractietijd tot 15 minuten. Is er mogelijk een invloed van de langdurige tractie in de opstelling op de mechanische eigenschappen binnen het stemband-complex?

Rekproeven bij dode stembanden zijn verricht door Van den Berg (1959) en Damsté (1973). De eerste benutte alleen de ligamenta vocalia, terwijl de ander de gehele stemband gebruikte voor de proefneming. Van den Berg belastte een lig. vocale stapsgewijs met gewichten van 5 tot 450 gram. Op deze wijze werd een rek-curve verkregen.

Van den Berg's conclusies zijn de volgende:

- geen noemenswaardig verschil in gedrag tussen de hele stemband of het lig. vocale alleen,
  - geen duidelijk verschil in sexe,
  - de stembanden van jonge personen zijn rekbaarder dan die van de ouderen,
  - geen verschil in het gedrag van de linker en rechter stemband,
  - bij een belasting van 100-150 gram longitudinale kracht treedt een verzadigingsplateau op bij een rek van 30 % ( $\epsilon = \Delta l/l_0 = 0,3$ ). Bij spierweefsel zou een dergelijk plateau ook kunnen optreden, echter bij een rek van 50 %.
- Bij een verder toenemende belasting treedt vervolgens afscheuring op.

Damsté (1973) bepaalde de elasticiteitsmodulus, dat wil zeggen de helling tussen de spanning  $\delta$  en de rek  $\epsilon$  in de curve  $\Delta\delta/\Delta\epsilon$  voor de uitgesneden stemband, die belast werd met een gewicht tussen de 0 en 60 gram. \*

Gevonden werd dat er een afname bestond in de elasticiteit bij het vorderen der leeftijd. Er werden geen sexe-verschillen waargenomen.

#### 4.7.2 Meetmethode

Nadat een stemband uit een larynx is uitgesneden werden de kraakbenige aanhechtingen weggenomen. Hierdoor is het weefsel gemakkelijker in te klemmen in klampen met perforerende pinnen, die daardoor afscheuring voorkomen.

\*  $\delta$  = spanning in  $\text{Newton/m}^2$   
 $\epsilon$  = relatieve rek =  $\Delta l/l_0$   
 De spreiding in de meting was ca. 25 %.

De klampen hebben een speciale ophanging. De onderste is verbonden aan een pneumatisch systeem en kan verticaal worden bewogen. De bovenste klamp is verbonden met een Grass FT.03 krachttransducer door middel van een vaste staaf.

Het signaal van de krachttransducer wordt versterkt in een rekstrookjesversterker, zoals gebruikt bij de pincetopstelling van het preparaat. Een elektronische controle op het pneumatisch systeem zorgt ervoor, dat de registratie in een computersysteem op een vaste tijd aanvangt na de start van de stapsgewijze rek, die totaal 1000 sec wordt aangehouden. Na een rustpauze van 900 sec wordt opnieuw een stapsgewijze meting begonnen met eenzelfde rek.

De beginlengte van het weefsel en de gewenste verlenging kunnen worden ingesteld met micro-stelschroeven. Het weefsel werd binnen 50 msec eventueel tot maximaal 50 mm verlengd. De stembandlengte tussen de klampen ligt bij de aanvang meestal rond 10 mm. Een verlenging van 30 % ( $\epsilon = 0,3$ ) betekent dus 3 mm toename.

De twee klampen met het preparaat zijn onder te dompelen in een reservoir dat met verschillende oplossingen gevuld en op een temperatuur van  $37^{\circ}\text{C}$  gehouden kan worden.

De schematisering in de tijd is in fig. 47a weergegeven, de stapsgewijze sprong in fig. 47b.

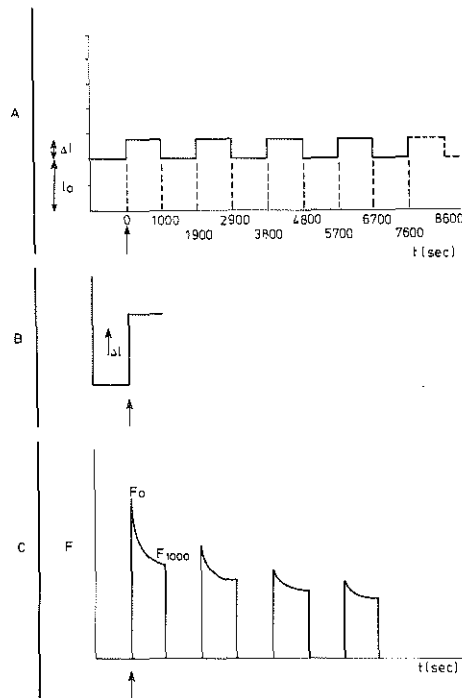


Fig. 47 - A. het tijdschema van de rekproeven aan de stemband.

B. de pulsvorm van de rek.

C. schematische voorstelling van de krachtsafname tussen 0 en 1000 seconden voor 4 intervallen.

#### 4.7.3 Resultaten

Voor vier tijdsintervallen is een verloop bij een sprongsgewijze verlenging schematisch weergegeven in fig. 47c. Het betreft hier preparaat 201/76, afkomstig van een man van 49 jaar. De verlenging is 30 % ( $\epsilon = 0,3$ ). Ten gevolge van de snelle verlenging ontstaat er een bepaalde kracht ( $F$ ) op de klampen. Deze noemen we op het aanvangstijdstip  $F_{0-1}$ . \* In de loop van de meting neemt de kracht geleidelijk af. Dit geschiedt in het begin zeer snel, doch dit gaat later minder snel, zodat de curve een exponentieel verloop heeft. Na 1000 sec neemt de kracht ( $F_{1000-1}$ ) nauwelijks meer af (fig. 48). Wordt na de rustperiode van 900 sec opnieuw een sprongsgewijze verlenging uitgevoerd, dan constateert men dat de kracht  $F_{0-2}$  niet meer de waarde van  $F_{0-1}$  bereikt, maar wel hoger is dan de voorgaande kracht  $F_{1000-1}$ . In het tijdsinterval 1 is het verval tussen  $F_0$  en

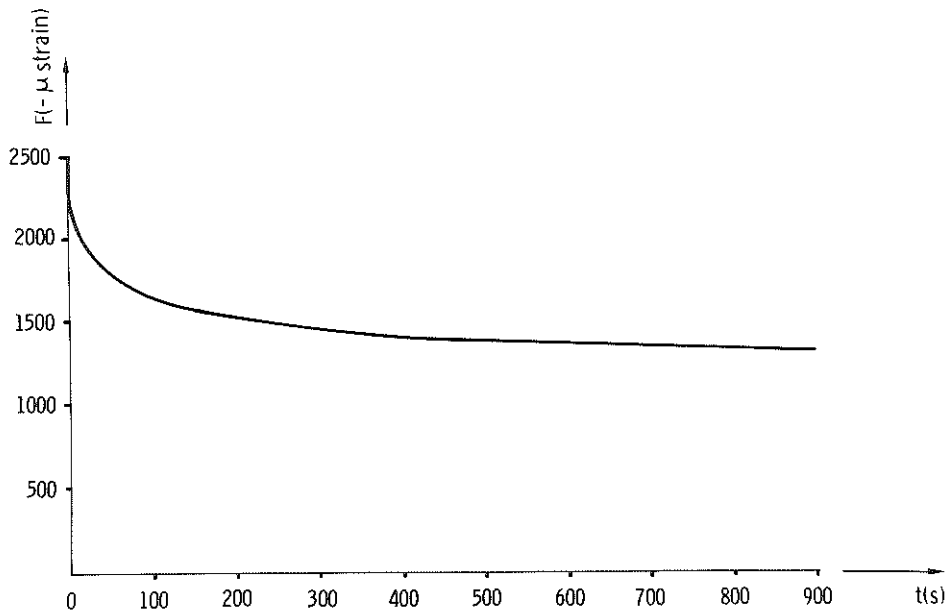


Fig. 48 - Het exponentiële verloop van de kracht tijdens een rekperiode van 900 seconden. Na 900 seconden verandert de kracht nauwelijks meer.

\*  $F_{0-1} = F_0$  uit interval 1.

$F_{0-2} = F_0$  uit interval 2.

$F_{1000-1} = F_{1000}$  uit interval 1.

$F_{1000-2} = F_{1000}$  uit interval 2.

$F_{1000}$  47 %, in interval 2 respectievelijk 33 %, in interval 3 is dit 29 % en in interval 4 26 %. De krachten  $F_0$ , die optreden aan het begin van iedere verlenging, zijn bepaald en voor 9 stembanden uitgezet in fig. 49. De krachten  $F_{1000}$ , te meten aan het einde van iedere verlengingsperiode van 1000 sec, zijn voor 10 stembanden uitgezet in fig. 50.

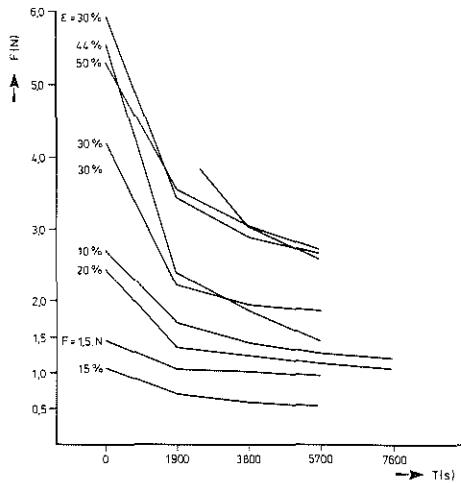


Fig. 49

Het verloop van de kracht op verschillende tijdstippen  $F$ . De tijdstippen 0, 1900, 3800 en 5700 seconden zijn door lijnen verbonden om het effect te tonen.

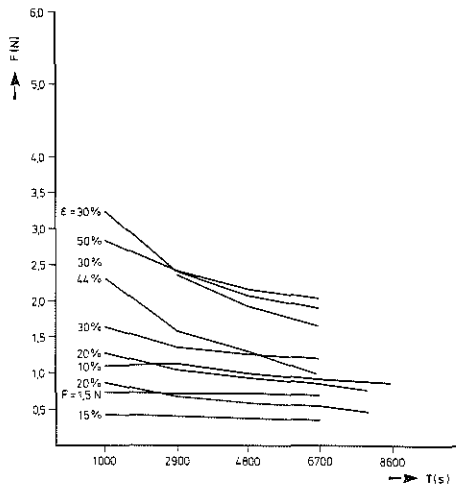


Fig. 50

Het verloop van de kracht op verschillende tijdstippen  $F_{1000}$ . Vanuit de tijdstippen 1000, 2900, 4800 en 6700 seconden zijn de punten door lijnen verbonden om het effect aan te tonen.

In beide figuren zijn verschillende percentages rek uitgezet, variërend van 15 tot 50 %. Eénmaal is de rek in Newton uitgezet (1,5 N), omdat daarbij niet de percentuele verlenging werd ingesteld, doch de kracht op de klampen.

#### 4.7.4 Discussie

In fig. 49 valt het op, dat het verval voor de waarde  $F_0$  op het tijdstip ( $F_{0-1}$ ) na 1900 sec ( $F_{0-2}$ ) zeer groot is. Wordt dit percentueel berekend ten opzichte van de uitgangswaarde dan is dit voor alle rekproeven tussen 46 % en 65 % krachtsafname. De rustperiode tussen 1000 en 1900 sec geeft een lichte krachtstoename te zien tussen de  $F_{1000-1}$  uit interval 1 en de daaropvolgende  $F_{0-2}$  doch de waarde  $F_{0-2}$  komt nimmer meer op het oude niveau terug. Letten we nu op de volgende tijdstippen  $F_0$  dan zien we dat het allereerste interval het grootste is, terwijl in de volgende intervallen het verschil niet groter is dan ongeveer 30 %. Daarnaast valt het in fig. 50 op dat de  $F$ -waarden hoger liggen en hoger blijven wanneer de verlenging groter is. Pas na zeer lange tijd kan men verwachten dat voor alle rekproeven een gelijke eindwaarde is bereikt. Tevens kan men uit de figuur lezen dat het verval tussen 0 en 1900 sec groter is naarmate de verlenging groter is. Anders gezegd: hoe groter de rek des te kleiner is de waarde voor de volgende  $F_0$ . Ook blijkt dat het interval bij een relatieve rek van 30 % of meer groter is dan bij rek onder deze waarde. De eindwaarden van een verlengingsproef  $F_{1000}$  die in fig. 50 zijn bijeengebracht, laten zien, dat de eerste rekproef bij 1000 sec al een forse afname in de waarde  $F$  tot stand brengt. Dit effect zet zich nog even voort in de tweede rekproef, die eindigt op het tijdstip 2900 ( $F_{1000-2}$ ) waarna de verdere afname heel geleidelijk is. De eerste eindwaarde wordt nooit meer bereikt. Er is dus een krachtafname in de loop van de proef. Wat verder uit de figuur is af te lezen is, dat de eindwaarde in het algemeen hoger ligt wanneer er meer verlenging is toegepast. De stemband laat zich dus niet helemaal uitrekken. Telkens wordt er afhankelijk van de mate van verlenging een bepaald plateau bereikt, dat hoger ligt als de verlenging groter wordt. Bekijken we de reacties op de plotselinge verlenging bij een wisselende rek zoals bijvoorbeeld 10 %, 10 %, 20 %, 20 %, 30 %, 30 %, 40 % en 40 %, dan blijkt de afname van  $F$  bij een nieuwe verlenging groter te zijn dan de afname van de opvolgende zelfde verlenging. We kunnen hieruit concluderen dat de eerste klap het meeste effect oplevert.

Het gebruik van zout van 0,65 % en 0,9 % alsmede van aqua dest. werd ten opzichte van elkaar vergeleken. Er kwam echter geen significant verschil in de verkregen waarden voor  $F$  naar voren.

Uitdroging van het preparaat blijkt wel van invloed. Drogen aan de lucht doet de waarden van  $F_0$  en  $F_{1000}$  toenemen. Het weefsel wordt taaier en krimpt

ineen. Föhnen doet dit nog sterker toenemen. Wordt het weefsel vervolgens weer 15 minuten bevochtigd, dan verloopt het verval volgens hetzelfde patroon als vóór het uitdrogen het geval was.

#### 4.7.5 Conclusie

Het is alsof de eerste klap een daalder waard is. Er treedt een gemiddelde afname van 55 % op in de kracht op de klampen voor  $F_0$ . Heeft de eerste rekproef eenmaal plaatsgevonden, dan is de verdere afname van  $F_0$  in de orde van 30 %. Een volledig herstel van de stemband na de rekproef bleek nooit op te treden. Er was altijd een soort vermoeidheid van het preparaat te constateren. Het krachtsverlies kan na de 'eerste klap' grofweg op 30 % geschat worden. Dit krachtsverlies uit zich in een lengtetoeename, die niet door de elasticiteit gecompenseerd wordt. Deze lengtetoeename treedt met name op bij excessieve rek. Uit het patroon, dat bij de constanten gevonden wordt, gaat iets veranderen tussen de 20 % en 30 % rek. Naar alle waarschijnlijkheid scheuren er collageen vezels door de plotselinge verlenging. Het is derhalve zinvol de proef ook eens geleidelijk uit te voeren. Men kan zich immers voorstellen een linnen doek met een ruk te kunnen scheuren, doch bij geleidelijke verlenging daarin niet te slagen. Bevochtiging speelt daarbij een grote rol. Een nauwkeurige osmolariteit lijkt minder relevant Om beschadiging aan het bindweefsel door rek microscopisch na te gaan werden gerekte stembanden naar het pathologisch laboratorium gestuurd voor collageen- en elastinekleuringen.

#### 4.7.6 Microscopisch onderzoek

Stembanden werden geprepareerd uit de larynx van een vrouw van 85 jaar (No S254/76). De linker stemband werd niet gerekt, de rechter stemband onderging 40 % rek met een stap van 50 msec. Het preparaat werd gekleurd met Masson (collageen) en van Giesson (elastine).

De coupes liepen in de lengterichting door het ligamentum vocale.

Microscopisch komt er een verschil naar voren tussen de gerekte en de ongerekte stemband.

In de gerekte rechter stemband zijn de golfpatronen in het collageen praktisch niet meer te zien. Het 'traliwerk' van de elastinevezels is verdwenen. Er is evenwel geen verscheuring waar te nemen ten gevolge van de spleetvorming.

Hieruit kan men de conclusie trekken dat de rekperiodes in deze proefopzet en die gekozen in de larynxopstelling, juist vanwege de lange fonatietijd, wel eens te lang kunnen blijken te zijn. Onherstelbare stembandverlenging treedt op

en derhalve mogelijkwerwijze een verandering in het elektroglottogram.

Het gedrag van de stemband op verlenging werd reeds door Tan (1960) nagegaan. De hierbij geleidelijk aangebrachte rek, zonder ingelaste rustpauzes, gaf trapjes in de rek te zien, die Tan toeschreef aan successievelijk scheuren van collageenvezels. Dit zou men in onze rekproeven ook kunnen verwachten bij plotselinge rek. De veronderstelling is dat dit boven 20% rek optreedt, gezien het steile verval in de allereerste rekproeven bij belasting van 30 % en hoger.

#### 4.8 Dynamische rekproeven

##### 4.8.1 Inleiding

In par. 4.7 is gebleken, dat bij een longitudinale sprongsgewijze rek, die 1000 sec wordt aangehouden, een flink verval van de elasticiteit binnen het stembandcomplex plaatsvindt. Dit kan een verklaring zijn voor de grote spreiding van de meetgegevens bij larynxpreparaten. Bij de levende larynx is er sprake van een maximale tijd waarin rek wordt toegepast, namelijk de fonatietijd. Deze is bij mannen en vrouwen verschillend en wordt mede bepaald door de aard van de fonatie: een aangehouden toon, zingen of spreken. Bij getrainde zangers is deze tijd maximaal 35 sec. In de normale spraak echter rond de 10 sec. We kunnen daarom ook bij kortdurende rekperiodes kijken naar de mechanische eigenschappen van de stemband. Bij de statische rekproeven ontstond de geachte dat de stembanden werken als een systeem met een hoogdoorlaatfilter met een tijdconstante van ongeveer 3 sec. Wordt het signaal versneld, dat wil zeggen wordt het rekken snel achtereen uitgevoerd, dan zou er weinig aan het uitgangssignaal moeten veranderen. Om dit na te gaan werden uitgeprepareerde stembanden aan een wisselende lengteverandering met een snelle periodetijd blootgesteld.

##### 4.8.2 Methode

De stembandophanging is gelijk aan die beschreven in par. 4.7, met dit verschil, dat het pneumatisch systeem dat voor de snelle stapfunctie zorgt hier vervangen is door een stappenmotor die een schijfje ronddraait met een excentriek. Hierdoor wordt de bovenste klamp waaraan de stemband is bevestigd sinusvormig op en neer bewogen. In deze ophanging is een druk-transducer opgenomen die aan een rekstrookjesmeter is bevestigd. De kracht wordt via een schrijver geregistreerd. De rek is in te stellen door het excentriek. De rekfrequentie wordt geregeld door de frequentie van de stappenmotor te regelen.



#### 4.8.3 Resultaten

Er wordt volstaan met de weergave van de registratie van larynx 356/76 (zie fig. 51).



Fig. 51

Proef C-6, stemband uit larynxpreparaat 356/76.

Sinusvormige rek ( $\epsilon = 0,25$ ); rekduur: 2 uur; frequentie: 0,1 Hz; medium: zoutoplossing 0,65 %.

Dit stembandpreparaat werd 20 uur post mortem gerekt. De afname van de kracht  $F$  blijkt ongeveer 66 % te zijn. Drie andere preparaten werden op gelijke wijze beproefd, waarbij de omstandigheden gelijk gehouden worden en de frequentie slechts werd gewijzigd naar 1 Hz. In principe waren alle resultaten overeenkomstig en in de orde van 60 tot 70 % verlies aan  $F$ .

#### 4.8.4 Discussie

Ook de rek met een hogere frequentie (0,1 Hz tot 1 Hz) geeft een grote krachtsafname te zien. Er is in feite geen opmerkelijk verschil in het stembandgedrag bij deze hogere frequenties. Met name een invloed als van een hoogdoorlaatfilter met een tijdconstante van 3 sec bleek niet merkbaar aanwezig. Het verval tussen de begin- en de eindwaarde op de klampen gemeten is eveneens in de orde van 66%. Dat dit verval optreedt heeft een andere verklaring. We hebben immers een sinusvormige stembandbeweging ingesteld, die mogelijk buiten het effect van de tijdconstante van 3 sec ligt. Als voorbeeld is het mogelijk juist te denken aan een veer en een demper in plaats van aan een stemband, die met een fre-

quentie tussen 0,1 Hz en 1 Hz wordt uitgerekte en weer wordt ingedrukt.

Beantwoordt proef C-6 hieraan?

Het weefsel laat zich wel uitrekken doch niet indrukken. Op de ingestelde ruststand wordt derhalve een constante verlenging verkregen, die overeenkomt met de gemiddelde waarden van de totale sinusvormige verlenging omdat er géén verkorting optreedt. Er wordt in deze proef alleen verlengd en in feite hetzelfde gedaan als in par. 4.7, met ziele uitzondering dat op een sinusvormige verlenging een constante verlenging gaat ontstaan die zorgt voor de vorm van de curve zoals in fig. 51 wordt getoond.

Er kan derhalve géén uitspraak worden gedaan over de normale fonatie en de fonatieduur door middel van de stembandverlenging en -verkorting, omdat het weefsel van het preparaat zich niet laat verkorten.

#### 4.9 Slotconclusie over de proefnemingen met het larynxpreparaat

Als conclusie van de proeven met de larynxpreparaten kan, mede gezien het resultaat van de rekproeven gesteld worden, dat het larynxpreparaat zich uitstekend leent voor de bepaling van overeenkomstige punten en trajecten tussen het elektroglottogram en de stembandbeweging.

Worden de grafieken nog eens overzien, dan lijkt er voor bepaalde quotiënten een frequentie-afhankelijkheid te bestaan, doch hierover kunnen geen harde uitspraken worden gedaan. Bekijkt men de frequentie-invloed bij het open quotiënt dan lijkt er een scherpe overgang te bestaan in het gebied rond de 150 Hz. Er zou hier van een registerinvloed gesproken kunnen worden.

Een duidelijk verband tussen ingestelde rek en verlenging van de stemband is niet te geven. Er kan slechts gesteld worden, dat er een niet onaanzienlijke verandering in lengte optreedt. Dit geeft een verklaring voor de grote spreiding in onze meetgegevens bij de larynxpreparaten. Zelfs binnen één larynx is het niet eenvoudig een verband aan te geven in de kwantificering volgens de opgegeven quotiënten.

Iedere meetsituatie verschilt van een andere door het individueel wisselende visco-elastische gedrag van de stemband en het ligamentum vocale in het bijzonder. Het wordt daarom noodzakelijk geacht de proeven uit te breiden met gegevens verkregen bij levende proefpersonen. Bij de proefpersonen zal de larynx naar alle waarschijnlijkheid een constanter visco-elastisch gedrag hebben. Dan moet ook rekening worden gehouden met een verfijnd natuurlijk mechanisme in de instellingen, die door het feed-back-mechanisme worden geregeld. In de laryxfysiologie wordt hier steeds meer rekening mee gehouden (Wyke e.a., 1976).

### 5.1 Inleiding

Uit het voorafgaande hoofdstuk blijkt dat het resultaat van de berekeningen van een groep larynxpreparaten te variabel is om een juiste voorspelling toe te laten omtrent frequentie- en intensiteitsinvloeden op de verschillende quotiënten, de relatieve amplitudes en het oppervlak van het elektroglottogram bij de levende mens. De verwachting, dat de tonus van de m. vocalis bij de instelling van frequentie en intensiteit een grote rol speelt, was een overweging om dezelfde bewerking bij het elektroglottogram van de proefpersoon te verrichten.

Allereerst moet worden nagegaan of de plaatsen van de tijdstippen en de trajecten in het elektroglottogram van de proefpersoon overeenkomstig zijn aan de plaatsen van de punten en trajecten in het elektroglottogram van het larynxpreparaat. Hiervoor worden een aantal personen stroboscopisch-elektroglottografisch met de spiegelmethode onderzocht.

Daarnaast moeten er elektroglottogrammen systematisch opgenomen worden binnen het gehele dynamisch bereik van de stem. Er wordt gebruik gemaakt van het 'fonetogram'.

In de keuze van de proefpersonen beperken wij ons tot zes mannelijke proefpersonen. Aangezien de larynxgrootte in verhouding tot de totale halsinhoud bij de man groter is dan bij de vrouw is de kwaliteit van het elektroglottogram beter.

Met het oog op toekomstig onderzoek bij foniatrische patienten is het noodzakelijk te kunnen beschikken over 'normaalwaarden'. Hierin moet dan tevens het elektroglottogram van vrouwelijke proefpersonen en van verschillende leeftijdsklassen betrokken worden.

### 5.2 Gecombineerd elektroglottografisch en stroboscopisch onderzoek

Om de berekeningen aan het elektroglottogram van een proefpersoon te kunnen maken staat voorop, dat er zekerheid moet bestaan omtrent de afspraken die in het vorige hoofdstuk werden gemaakt op grond van stroboscopisch onderzoek. Hiervoor worden drie zeer goed te spiegelen proefpersonen uitgekozen, die stroboscopisch en elektroglottografisch worden onderzocht.

Het resultaat van het onderzoek is dat bij alle proefpersonen de markante

punten en trajecten van het preparaat-elektroglottogram worden teruggevonden. Met name blijkt dezelfde fase-relatie te bestaan (zie fig. 30). Derhalve kunnen wij de indeling van het elektroglottogram uit hoofdstuk 4 overnemen en de quotiëntenberekening analoog opzetten.

### 5.3 Het fonetogram

#### 5.3.1 Inleiding

Om elektroglottogrammen te kunnen opnemen kan men willekeurig kiezen uit het hele dynamische bereik van de stem. Er bestaat echter een methode om het bereik en de dynamiek weer te geven. Dit is het zogenaamde fonetogram (Calvet, 1952; Damsté; 1969; Waar; 1969, Schutte, 1975). Dit is een weergave van de intensiteit van de stem als functie van de frequentie. Er zal bij een groep mannelijke en een groep vrouwelijke proefpersonen worden nagegaan of het fonetogram een mogelijkheid biedt voor een systematische keuze van het glottogram uit de stemomvang.

#### 5.3.2 Meetopstelling voor het opnemen van fonetogrammen

Het onderzoek vindt plaats in een akoestisch galmarme kamer. De frequentie wordt stapsgewijs aangegeven door een toongenerator en een koptelefoon. (fig. 52).

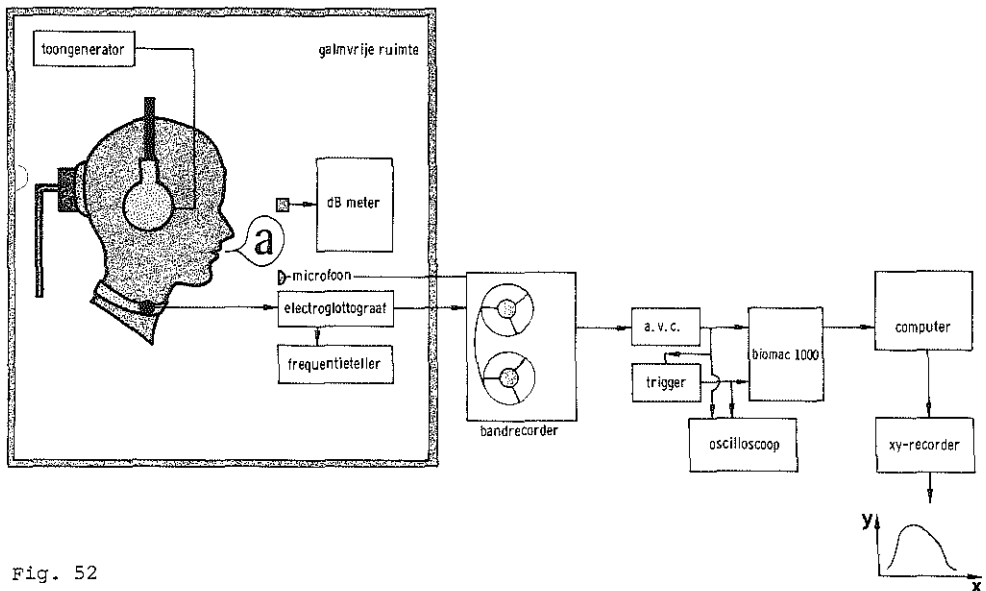


Fig. 52

Blokschema van de meetopstelling voor het opnemen van het fonetogram en het elektroglottogram.

De aangegeven toon wordt door de proefpersoon nagezongen in de vocaal /a:/. Een microfoon, die op 50 cm afstand van de mond is geplaatst, registreert de geluidsstrekte in dB SPL.

Bij 262 Hz ( $c^1$ ), ongeveer in het midden van het normale frequentiebereik, wordt begonnen met de registratie van de intensiteit.

De intensiteit wordt bij de volgende frequenties gemeten: 262 Hz ( $c^1$ ), 330 Hz ( $e^1$ ), 380 Hz ( $g^1$ ) en 520 Hz ( $c^2$ ); eventueel hoger als dit mogelijk blijkt. Daarna wordt dalend gemeten bij 198 Hz ( $g$ ), 165 Hz ( $e$ ), 130 Hz ( $c$ ), 98 Hz ( $G$ ) en 80 Hz ( $E$ ).

Aan de proefpersoon wordt gevraagd te foneren op de zachtst mogelijke manier waarbij de betrokkene nog het gevoel heeft dit ongedwongen te kunnen doen, daarna te foneren op een voor hem prettig geluidsniveau, ongeveer spreektoonluidheid, door mij 'aangename luidheid' genoemd en vervolgens te foneren op de luidst mogelijke wijze zonder te forceren.

De notering van de frequentie op de X-as en de intensiteit op de Y-as wordt het fonetogram genoemd.

De groep proefpersonen bestond uit zes vrouwen met een min of meer getrainde stem en vier ongeoefende mannen.

### 5.3.3 Resultaten

Fig. 53 toont het gemiddelde fonetogram voor zes vrouwenstemmen. Het fonetogram, opgenomen bij de vrouwelijke proefpersonen toont een gemiddelde luidheidsdynamiek van 26 dB voor 262 Hz. Het frequentiebereik is ongeveer twee octaven. Opvallend is, dat in het relatief kleine dynamische bereik van 26 dB de spreidingen in de lijnen van de diverse luidheden klein zijn.

Fig. 54 geeft het fonetogram voor vier mannenstemmen. Daarbij valt een aantal extra punten op.

In de eerste plaats neemt voor iedere lijn het gemiddelde intensiteitsniveau toe naarmate de frequentie stijgt. Daarnaast valt een dip op, die bij zacht foneren op 262 Hz ligt, doch bij aangenaam en luid foneren op 330 Hz ligt. Alle mannelijke proefpersonen halen als ondergrens 98 Hz en als bovengrens ongeveer 550 Hz ( $cis^2$ ), een bereik van ongeveer  $2\frac{1}{2}$  octaaf. Wederom is het opvallend dat de lijnen van verschillende luidheden een betrekkelijk kleine spreiding hebben. De helling, waaronder de lijnen verlopen, zijn verschillend in het borstregister. Voor zacht foneren is dit 6 dB per octaaf. Voor aangenaam foneren is dit 9 dB per octaaf en voor luid foneren is dit 12 dB per octaaf.

In het falsetregister verlopen de drie lijnen ook onder verschillende hellingen. Voor zacht foneren is dat 9 dB per octaaf, voor aangenaam foneren is

dit 3 dB per octaaf en voor luid foneren is dit 7 dB per octaaf.

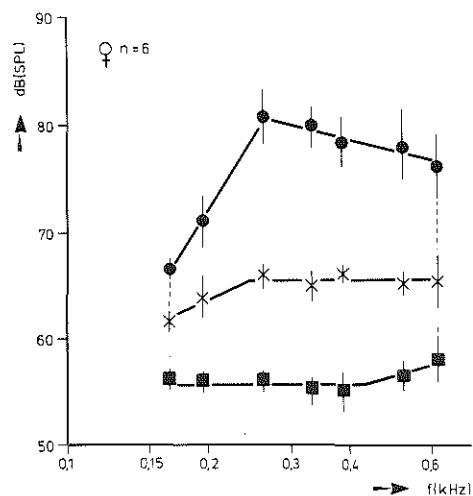


Fig. 53

Het fonetogram bij zes vrouwelijke proefpersonen.

luid foneren  
aangenaam foneren  
zacht foneren

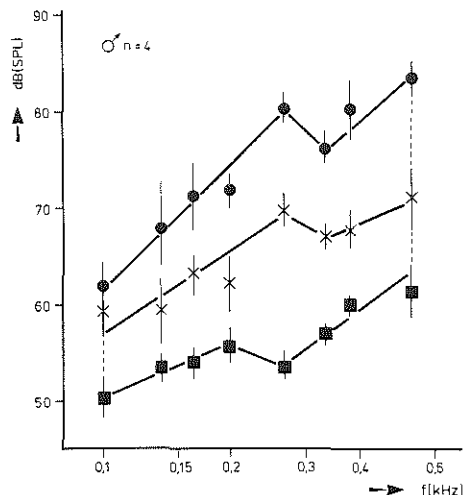


Fig. 54

Het fonetogram bij vier mannelijke proefpersonen.

luid foneren  
aangenaam foneren  
zacht foneren

#### 5.3.4 Discussie

Het fonetogram wordt in de logopedie en foniatrie gebruikt om een indruk te krijgen van het frequentiebereik van de betrokken persoon tezamen met zijn of haar stemdynamische mogelijkheden.

Schutte (1975) beschrijft de dip als de plaats van een registerovergang, die vooral goed zichtbaar is bij de ongetrainde proefpersoon, doch ontbreekt bij getrainde zangers. Het frequentiegebied onder de dip wordt borstregister genoemd. Het frequentiegebied boven de dip wordt falsetregister genoemd.

Een klinker wordt gekarakteriseerd door minstens drie formanten, die door resonanties van de experimentele ruimte beïnvloed worden. Een voordeel van de akoestisch galmarre kamer is dat de invloed van resonantiepieken van de ruimte zo klein mogelijk wordt gehouden. Een ander voordeel is dat een stoorgeluid aan de onderzijde van het frequentiespectrum vermeden wordt en dat de invloed van stoorgeluid op de luidheid van de stem zoals bekend uit de Lombard reflex-test (1911) wordt geëlimineerd (Prucewicz e.a., 1974). Een nadeel is dat de onderzochte persoon aan de onderzoekruimte moet wennen, zeker wanneer hij aan een goede auditieve terugkoppeling gewend is.

Bij aangenaam foneren ligt in het fonetogram de helling voor mannelijke proefpersonen op 9 dB per octaaf.

Waarom neemt bij een frequentietoename de intensiteit in deze mate toe?

In dit kader merkte Vennard (1967) op dat het hem was opgevallen dat beginnende zangers veel moeilijker hoge tonen zacht konden zingen dan getrainde zangers, doch dat ook getrainde zangers hoge pianissimo's luider zingen dan lage pianissimo's.

Hirano (1969) beschreef een intensiteitsstijging bij toenemende toonsverhoging, die bij de ongetrainde personen heel duidelijk was doch welke bij de getrainde personen minder opviel. In feite is dit eenzelfde bevinding als gedaan voor Vennard.

Het fonetogram is opgenomen bij de vocaal /a:/. Dit is een open vocaal, waarvan de formanten het minst uitgesproken zijn, zodat er een vlak spectrum ontstaat. Dit betekent dat deze vocaal relatief dicht bij de 'primaire glottistoon' ligt. Zeker speelt bij de uitstraling door de mond de grootte van de mondopening een rol (van den Berg, 1956), doch het aanzetstuk heeft bij /a:/ een lage impedantie ten opzichte van andere vocalen. Beperken we onze verklaring nu tot de activiteit van de spiertjes van de glottis, dan kan daarover een gedachtingang opgebouwd worden op grond van elektromyografisch onderzoek (Hirano, 1967 en 1969) en op basis van gegevens van Hollien (1960 en 1971) verkregen via 'stroboscopic laminagraphy' (STROL) ter meting van de stembanddikte en via een fotografietechniek ter meting van de stembandlengte.

Bij elektromyografisch onderzoek blijkt de m. vocalis in het borstregister steeds actief te zijn en deze activiteit neemt doorgaans toe bij toenemende frequentie. Parallel met de m. vocalis-activiteit ziet men de activiteit binnen de m. cricothyreoideus, de m. cricoarytenoideus lateralis en de m. interarytenoideus toenemen. De m. vocalis en de m. cricothyreoideus zijn antagonistisch voor wat betreft verkorting en verlenging van de stemplooi en zijn synergistisch voor wat betreft de adductie. De m. vocalis verkort zich en kan tegelijk daarmede de interne spanning opvoeren, terwijl de m. cricothyreoideus dit doet door de stemband te verlengen. De m. vocalis adduceert, doch de m. cricothyreoideus doet dit ook. Beide geven onder verschillende omstandigheden een glottisverkleining. Bij frequentietoename is er een toename van de interne spanning in de stemplooi door de m. vocalis en de genoemde andere spiertjes, waarbij de m. cricothyreoideus niet die rol speelt, die de fysiologie oorspronkelijk aan dit spiertje toebedeeld: een toenemende activiteit bij toenemende frequentie, vooral na de registerovergang (Hirano, 1970). De statische interne spanning bepaalt de resonantiefrequentie ( $f_0$ ) volgens de formule:

$$f_0 = C \sqrt{\frac{\alpha}{m}} \quad (1) \quad (\text{zie blz 20}).$$

Door  $f_0$  wordt de grondtoon van de stem bepaald. De subglottische druk bepaalt via een zekere glottisopening een flow, die door het Bernoulli-effect zorgt voor de verplaatsing van de stembanden, waardoor het systeem op gang komt en de beweging wordt onderhouden.

Uit elektromyografische studies blijken de m. vocalis en de m. cricoarytenoideus lateralis ook actief te zijn bij luidheidsveranderingen; Fink (1962), Cavagna (1965), Rubin, Le Cover en Vennard (1967) en Hirano (1969). Hun activiteit wordt met toenemende intensiteit groter. Door deze activiteitstoename van de adductoren neemt de glottisopening in grootte af, waardoor de intralaryngeale weerstand toeneemt; Hirano (1969), Isshiki (1964), Yanagihara en von Leden (1966). Deze weerstand kan beschreven worden naar analogie van de wet van Ohm als:

$$R = \frac{P_s - P_{sp}}{V} \quad (2)$$

$R$  = intralaryngeale weerstand

$V$  = flow

$P_s$  = de subglottische druk     $P_{sp}$  = supraglottische druk\*

\* Deze druk is te verwaarlozen omdat bij de vocaal /a:/ het aanzetstuk een lage impedantie heeft.



Een intensiteitstoename kan op twee manieren plaatsvinden. Op de eerste plaats kan de flow constant blijven door een nauwere glottis en een hogere subglottische druk. Op de tweede plaats moet, wanneer de interne spanning wordt verhoogd, de flow toenemen om de wet van Bernoulli in stand te houden.

De subglottische druk moet dus bij een toenemende luidheid ook toenemen (Cavagna, 1965; Rubin e.a., 1967-a). Door een toename van intralaryngeale weerstand en de daarbij behorende kleinere glottisopening zal de stroomsnelheid binnen de glottis toenemen. Dit behoeft echter geen toename van het passerende volume met zich mee te brengen. De aldus gevormde luchtpuls krijgt een grotere snelheid, met daardoor het effect van een grotere geluidsdruk en derhalve een intensiteitstoename. Het aantal harmonischen van deze luchtpuls neemt toe naarmate deze luchtstoot een grotere snelheid heeft. Hoe kleiner de glottisopening bij een bepaalde subglottische druk is, des te energierijker is de luchtstoot. Er bestaat in het borstregister geen lineair verband tussen de gemiddelde flow en de subglottische druk (resp.  $V$  en  $P_s$ ). In het falsetregister is dit verband ongeveer lineair (van den Berg, 1956-b).

Door stemtraining zou dit kleiner worden van de glottisopening juist plaats gaan vinden, hetgeen ook in high-speed-opnamen in combinatie met intensiteitsproeven gezien is (van den Berg, 1956-b). Dit heeft dan consequenties voor het openingsquotiënt.

Door een toename van de activiteit van de m. vocalis en de andere adductoren is er dus een toename van de frequentie mogelijk. Deze activiteitstoename speelt zich ook af bij een luidheidstoename. Belangrijk is dus dat beide systemen aan elkaar gekoppeld zijn en in elkaars verlengde werken.

Wanneer de frequentie toeneemt, geschiedt dat doordat de interne spanning verhoogd wordt. Indien er dan met een minimale luidheid gefoneerd wordt, moet de flow verhoogd worden om via het Bernoulli-effect voldoende fonatie te behouden. Indien de glottisopening niet vernauwd wordt, zoals dat bij de ongetrainde proefpersonen het geval is, betekent een grotere flow een intensiteitsverhoging. We zien dus dat bij frequentieverhoging automatisch een intensiteitsverhoging optreedt bij ongetrainde proefpersonen.

In het falsetregister ontstaat een kleinere massa ( $m$ ) door de dunner worden-de stemband. In het lage falsetto schijnt er nog een minimale massa-afname te zijn, herleid uit de dikteveranderingen. In de hogere frequenties van het falsetto is er nauwelijks een massa-afname meer. Aangezien de massaverandering in het falsetto een geringe rol speelt, hebben we in formule (1) hoofdzakelijk met de spanning  $\alpha$  als regelende frequentiefactor te maken. Verder blijkt uit elektromyografische studies van het falsetregister, dat de activiteit van de *m. vocalis* wel aanwezig is, doch dat deze is afgenomen vergeleken met het borstregister (Faaborg-Andersen, 1957; Sawashima, 1969). Uit andere onderzoeken (Hirano, 1969 en 1970) blijkt de activiteit van de *m. cricothyreoideus* niet duidelijk toe te nemen, hetgeen men wel zou verwachten met het toenemen van de frequentie. Er werd geen duidelijke positieve correlatie opgemerkt voor de *cricothyreoideus*-activiteit bij de frequentiestijging. De elektromyografische activiteit neemt zeker niet af, doch er mag aan de invloed van de *m. cricothyreoideus* bij de regeling van de frequentie kennelijk geen al te grote waarde worden toegekend. De *m. cricoarytenoideus lateralis* is daarentegen wel bij de regeling van de frequentie betrokken en wel zodanig, dat bij een frequentiestijging ook de elektromyografische activiteit blijkt toe te nemen voor het behoud van de adductie (Hirano, 1970).

In de frequentieregeling in het falsetregister zijn dus verschillende spier-tjes intralaryngeaal en de *m. cricothyreoideus* extralaryngeaal betrokken. Hun onderlinge samenwerking met betrekking tot lengte, massa en spanning van de stem-plooien is echter niet zonder meer duidelijk. Zeker zijn de extralaryngeale spieren in beide registers actief (Sonninen, 1956; Zenker, 1958; Gould, 1971 en 1974 en Damsté, 1977). Door verschillende contractietoestanden van rug-, borst- en buikmusculatuur wordt indirect invloed uitgeoefend op de intrinsieke larynx-musculatuur, terwijl de hals- en nekmusculatuur direct bij de larynxpositie zijn betrokken. Voorbeelden daarvan zijn de tractie aan de *conus elasticus* via de trachea en de compressiemogelijkheid van de *m. thyreopharyngeus* op de uiteinden van de schildkraakbeenplaten. Dit kan tot veranderingen in de lengte en de dikte van de stemplooien aanleiding geven. Door de proefpersonen in een onderzoekstoel met een gefixeerd hoofd te onderzoeken wordt de houding enigszins gestandaardiseerd en de extralaryngeale inbreng geminimaliseerd.

Het merendeel van de uitspraken, op grond van verschillende onderzoeksmethoden, wijzen de flow aan als een intensiteitsverhogende factor in het falset-

register (o.a. Isshiki, 1964, Cavagna, 1965). Aangezien de randspanning van de stemband groot is, is er een relatief grote flow nodig om de wet van Bernoulli van toepassing te doen zijn. Een toenemende flow betekent een grote intensiteit. De intralaryngeale weerstand  $R$  blijft door de geringe invloed van de larynxmusculatuur op de glottisopening vrijwel constant. Het is dan vooral de ademhalingsmusculatuur die regelend werkt op de intensiteit.

Er blijkt dus dat ook in het falsetregister een aantal regelmechanismen binnen de larynx voor de frequentiestijging en de intensiteitstoename parallel lopen, voornamelijk door de flow  $v$  bepaald.

Hieruit is voor beide registers af te leiden dat voor het hele frequentiebereik een frequentietoename ook een intensiteitsverhoging tot gevolg heeft. Dit is evenwel geen automatisme. Bij getrainde personen blijkt een frequentietoename niet met een intensiteitsverhoging gepaard te hoeven gaan (Schultz - Coulon, 1976). De besturing o.a. van de cricothyreoideus zou vanuit de larynx-receptoren plaatsvinden. Dit zou dan onder invloed van stemtraining geschieden, zodat we zouden mogen verwachten dat de helling van het fonetogram vooral in het borstregister en in mindere mate in het falsetregister bij getrainde personen afneemt.

Fig. 53, waarin van getrainde vrouwestemmen het fonetogram wordt getoond, is hier een voorbeeld van.

Een tweede aspect uit het fonetogram wordt nu ook verklaarbaar. De dip als registerovergang is bij ongetrainde personen een gevolg van een vrij plotselinge verandering binnen de bestaande intralaryngeale verhoudingen, met name de relatie tussen massa en spanning. Bij de registerovergang neemt de massa van de stemplooi abrupt af. Om op gelijke frequentie te blijven moet de spanning ook afnemen. Daardoor kan de snelheid van de luchtpuls afnemen en dit resulteert in een verlaging van de intensiteit.

Bij training verdwijnt de dip doordat de massa niet abrupt, maar geleidelijk afneemt.

Een derde aspect is dat de dip verschuift naar een hogere frequentie bij een hogere intensiteit. Bij een hoger intensiteitsniveau staat de larynxmusculatuur onder een grotere spanning. Door deze grotere spanning bereikt men met een sterker Bernoulli-effect bij dezelfde massa een hogere frequentie. Dit betekent dat het borstregister bij een hogere luidheid verder doorloopt. Bij zacht foneren mag geen grote spanning optreden, waardoor bij een lage frequentie al overgeschakeld wordt naar een hoger register. Massa-afname werkt dan frequentieverhogend.

### 5.3.5 Conclusie

Een oplopende vorm van het fonetogram is normaal bij de ongetrainde stem. Door koppeling van frequentie aan intensiteit wegens de overeenkomstig gebruikte musculatuur loopt in principe met de frequentie ook de luidheid op doch de helling van de luidheidsniveau's kan door training een vlakker verloop krijgen (fig. 53 en 54). De tevens oplopende registerdippen verdwijnen bij training. De dip ligt tussen 262 Hz en 330 Hz ( $C^1$  en  $e^1$ ) voor de man. Het begrip 'lijn van aangename luidheid' werd geïntroduceerd, die bij de proefpersonen slechts een kleine spreiding vertoont. Aangezien de drie luidheidsniveau's zich over bepaalde trajecten met normale spreiding bewegen, is besloten onder dezelfde akoestische condities als in het fonetogram de elektroglottogrammen voor een nadere analyse op te nemen.

Tevens geeft een fonetogram een indruk over het goed functioneren van de stem, die elektroglottografisch geanalyseerd wordt.

### 5.4 Methode en meetopstelling voor het opnemen en verwerken van het elektroglottogram bij proefpersonen.

Het fonetogram biedt een mogelijkheid om volgens een bepaald systeem elektroglottogrammen op te nemen. De elektroglottografie wordt onder dezelfde omstandigheden in de galmarme kamer uitgevoerd. We meten bij luide en bij zachte fonatie aan de grenzen van de stemomvang en bij aangename fonatie er tussen in.

Het aantal mannelijke proefpersonen was 6 ( $n=6$ ). Allen hadden ongetrainde stemmen. De leeftijd varieerde tussen 20 en 40 jaar, allen zonder stembandafwijkingen. Onder stroboscopisch licht werd spiegelonderzoek verricht om morfologische afwijkingen uit te sluiten.

De proefpersoon wordt in een stoel met een hoofdsteun geplaatst om de hoofdbeweging beperkt te houden, aangezien anders het signaal onstabiel wordt wegens de toepassing van een hoogdoorlaatfilter van 2,5 Hz. De elektroden van de elektroglottograaf van Frøkjær-Jensen worden van elektrodenpasta voorzien en vervolgens op de huid ter hoogte van het schildkraakbeen geplaatst en vastgezet met een elektrodenband.

De proef begint met het in balans brengen van de brug in de elektroglottograaf. Volgens de aanwijzingen zacht, aangenaam en luid foneren wordt een aantal

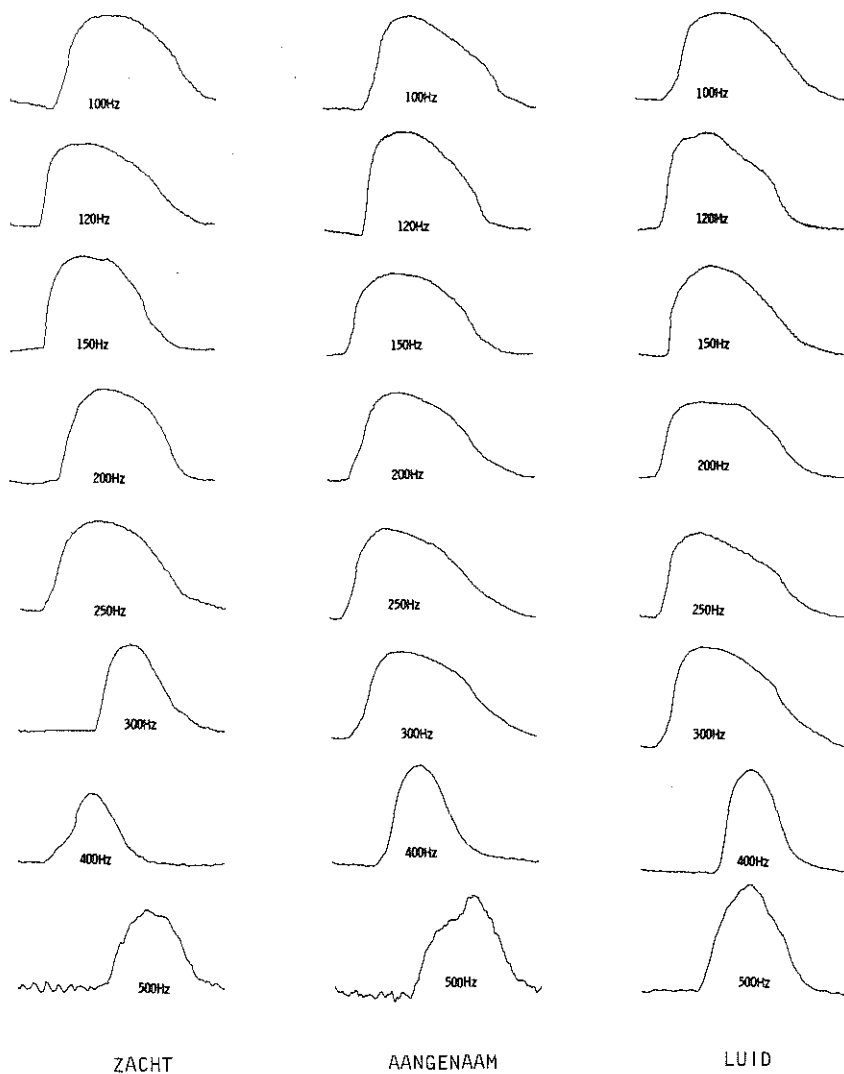


Fig. 55

De elektroglottogrammen van proefpersoon A.S. voor zacht, aangenaam en luid foneren tussen 100 Hz en 500 Hz.

vaste frequenties door de proefpersoon in de vocaal /a:/ ten gehore gebracht. De frequenties worden even met een toongenerator en een koptelefoon aangegeven (zie fig. 52). De gebruikte volgorde is 250 Hz, 200 Hz, 150 Hz, 120 Hz en 100 Hz, vervolgens de frequenties 300 Hz, 400 Hz en 500 Hz. Om te weten of de gevraagde frequentie inderdaad wordt aangegeven door de proefpersoon kan deze door middel van zweving de interferentie van zijn stemgeluid met de oscillator nagaan. Tevens kan de proefpersoon een frequentieteller aflezen, die door de goede pulsform van het elektroglottogram uitstekend te sturen is. Gemiddeld was de registratietijd 7 seconden per gevraagde frequentie en luidheid. De opnamen worden alle achtereen gemaakt met een rustpunt, zodat hysteresis-aspecten bij deze opnamevorm niet aan de orde komen. Zoals uit het blokschema van fig. 52 blijkt, verloopt de opslag en de verwerking van de elektroglottogrammen op dezelfde wijze als in hoofdstuk 4 is beschreven voor de larynxpreparaten. Ook hier worden alle glottogrammen door middel van een AVC in amplitude gelijk gemaakt om oversturing van de interface tegen te gaan en om later op de XY-recorder voor een onderling vergelijk gepresenteerd te kunnen worden.

## 5.5 De proeven bij één proefpersoon

### 5.5.1 Opzet van de proeven

Van proefpersoon A.S. wordt op vijf achtereenvolgende dagen het elektroglottogram opgenomen om de spreiding van de resultaten bij één proefpersoon na te gaan en om de invloed van de frequentie en de luidheid te bestuderen. Het elektroglottogram wordt voor de verdere bewerking verdeeld in dezelfde vijf quotiënten, die gebruikt zijn bij de proeven met de larynxpreparaten, terwijl ook het relatieve oppervlak van het elektroglottogram en de relatieve amplituden van de sluitings- en openingsflank worden bepaald.

### 5.5.2 Resultaten

In figuur 55 worden van één meting voor zacht, aangenaam en luid foneren de elektroglottogrammen bij acht onderzochte frequenties uitgeschreven door middel van de XY-schrijver. Worden de glottogrammen met elkaar vergeleken, dan vallen de twee basisvormen op. In het lage frequentiegebied bestaat er een asymmetrisch, breed elektroglottogram, terwijl er bij de hoge frequenties een elektroglottogram wordt gevormd, dat smal en praktisch symmetrisch van bouw is. Worden de twee basisvormen voor aangenaam foneren over elkaar geschreven (fig. 56), dan is het verschil in de vorm duidelijk zichtbaar. Aan de sluitingsflank bestaat er geen opmerkelijk verschil doch op de top en aan de daalflank treedt een groot verschil op. Voor aangenaam en luid foneren is deze top breed voor de frequentie

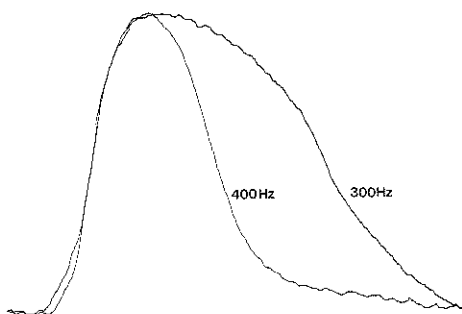


Fig. 56

De twee basisvormen van het elektrogloottogram: het borstregister bij 300 Hz en het falsetregister bij 400 Hz.  
Proefpersoon A.S.

van 300 Hz en smal voor de frequentie van 400 Hz. Voor zacht foneren is deze top breed voor 250 Hz en smal voor 300 Hz.

Een ander opmerkelijk feit is het optreden van een knik bij de daalflank bij lage frequenties en het opschuiven van deze knik naar de top bij hoge frequenties. Er zal getracht worden een meer gespecificeerde relatie tussen frequentie, luidheid en het elektrogloottogram te leggen. Tevens zal statistische toetsing deze afhankelijkheid moeten kunnen aantonen.

### 5.5.3 De quotiëntenberekening bij één proefpersoon

De volgende quotiënten worden bepaald (fig. 57):

- het sluitingsquotiënt ( $Sq$ ) in fig. 58
- het maximale sluitingsquotiënt ( $Sq_t$ ) in fig. 59
- het gesloten quotiënt ( $Gesl.q$ ) in fig. 60
- het openingsquotient ( $Oq$ ) in fig. 61
- het open quotiënt ( $Open q$ ) in fig. 62.

Daarnaast wordt bepaald:

- het relatieve oppervlak ( $Or$ ) in fig. 63.

Tevens worden berekend:

- de relatieve sluitingsamplitude ( $Arel._s$ ) in fig. 64
- de relatieve openingsamplitude ( $Arel._o$ ) in fig. 65.

Voor de definities wordt verwezen naar hoofdstuk 4 en naar appendix A. In de figuren wordt zacht foneren aangegeven door ■, aangenaam foneren door × en luid foneren door ●. De aangegeven spreiding wordt bepaald uit de gemiddelde uitkomsten van vijf metingen en bedraagt éénmaal de standaarddeviatie.

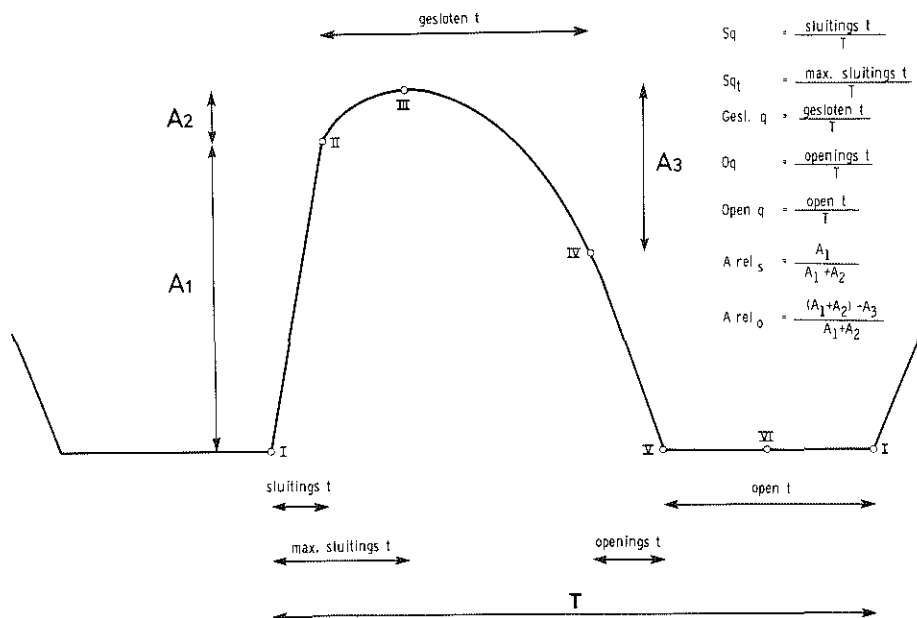


Fig. 57 Schematisch elektroglottogram (borstregister). De quotiënten en de amplitudeverhoudingen worden rechts in de figuur gedefinieerd.

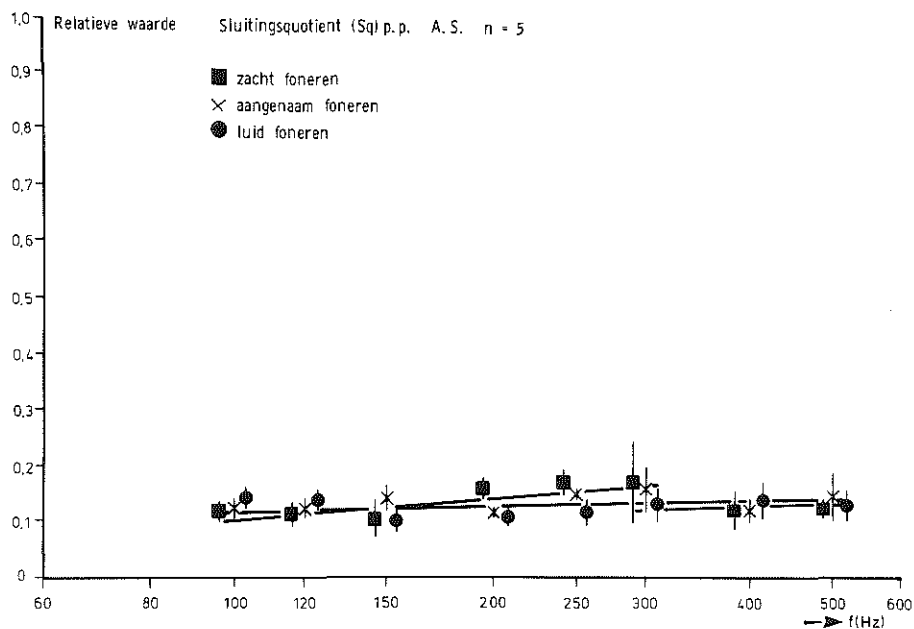


Fig. 58 Het sluitingsquotiënt van proefpersoon A.S.



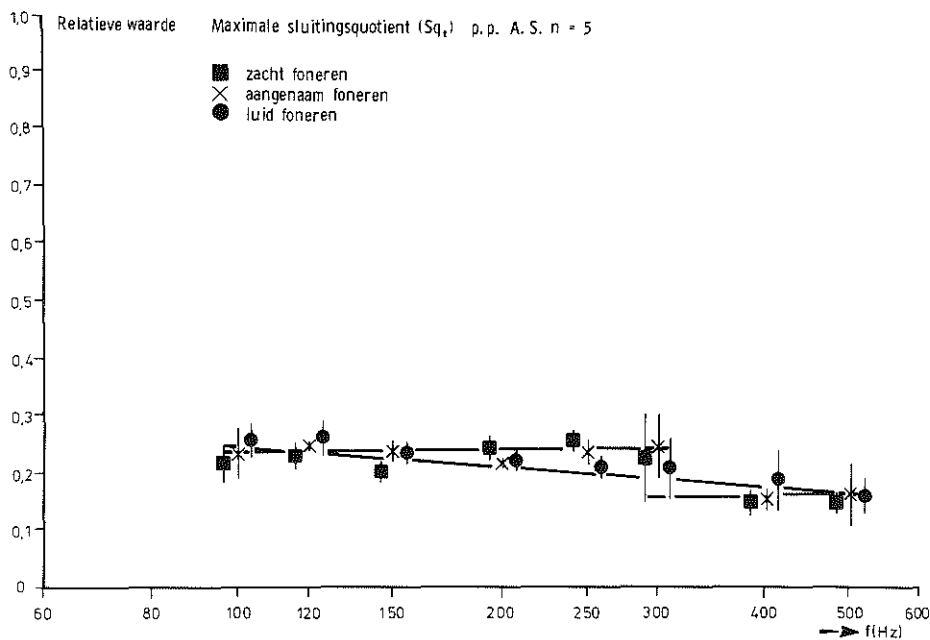


Fig. 59 Het maximale sluitingsquotiënt van proefpersoon A.S.

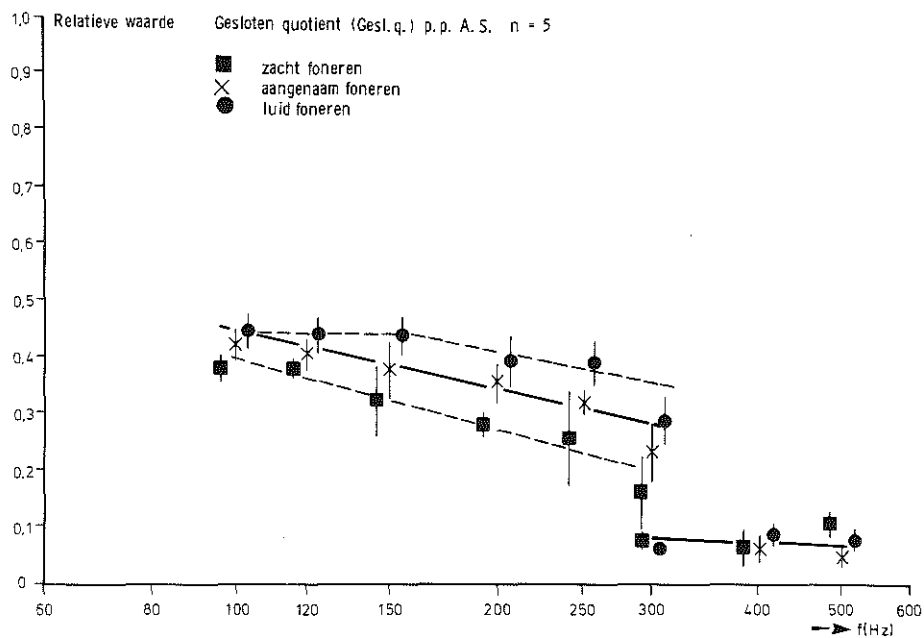


Fig. 60 Het gesloten quotiënt van proefpersoon A.S.

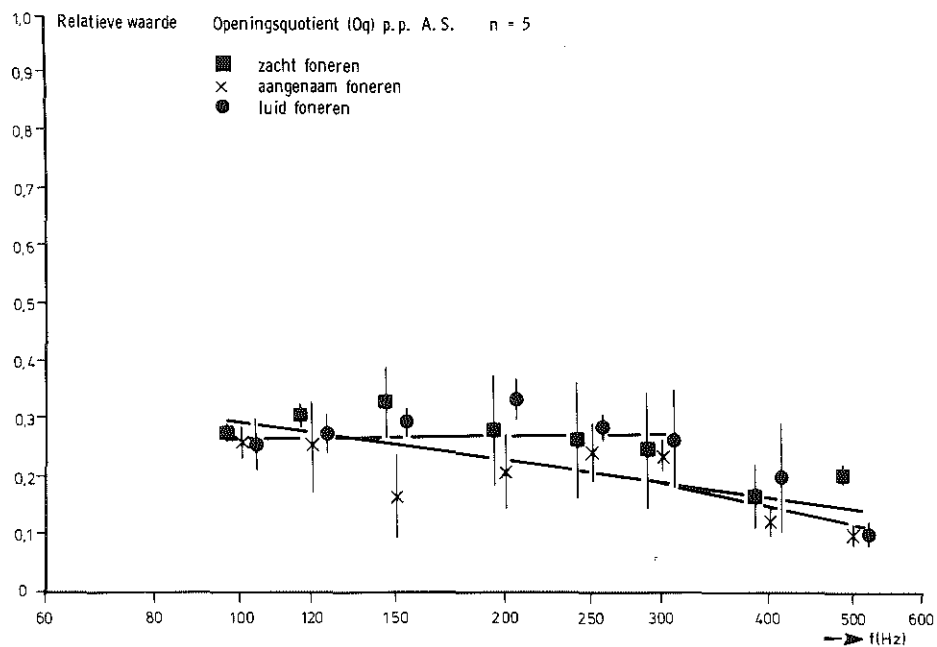


Fig. 61 Het openingsquotiënt van proefpersoon A.S.

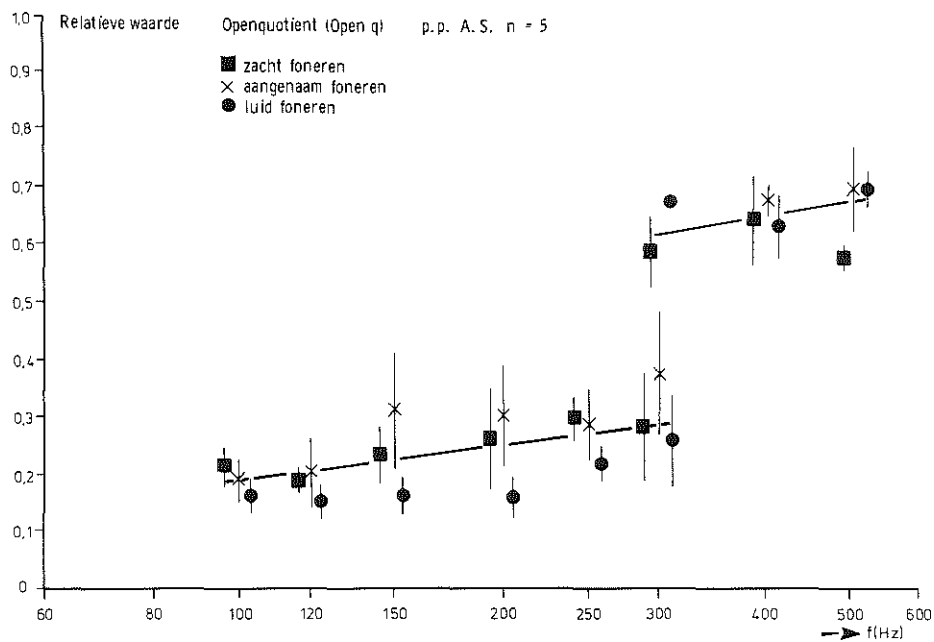


Fig. 62 Het open quotiënt van proefpersoon A.S.

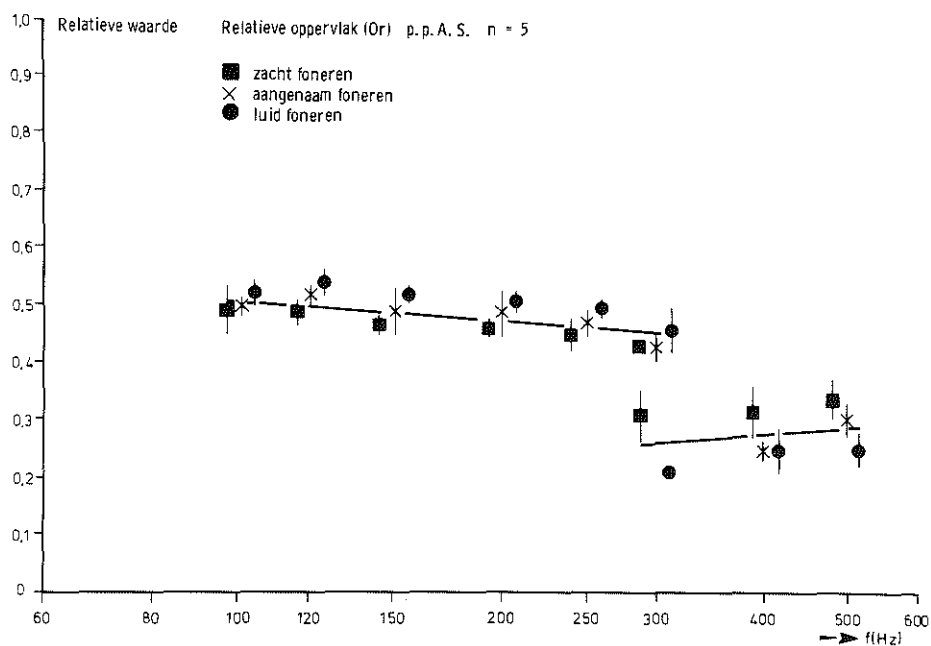


Fig. 63 Het relatieve oppervlak van proefpersoon A.S.

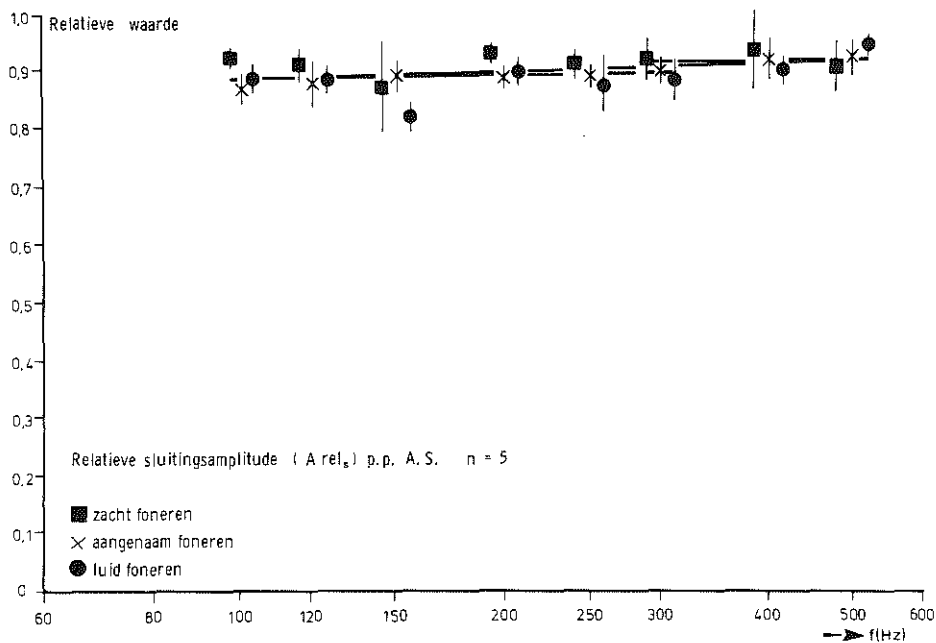


Fig. 64 De relatieve sluitingsamplitude van proefpersoon A.S.

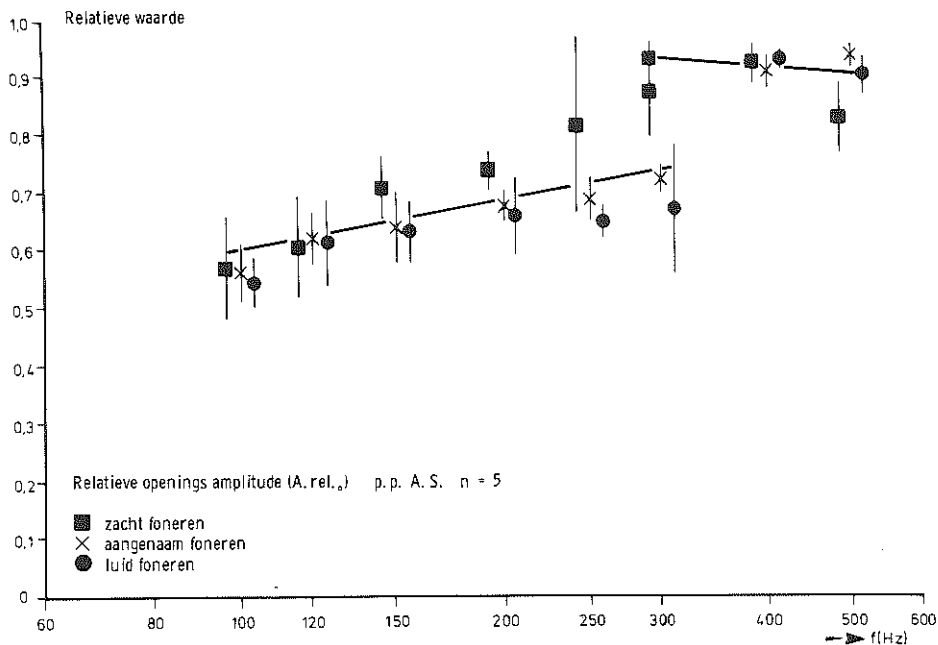


Fig. 65 De relatieve openingsamplitude van proefpersoon A.S.

Op grond van de twee basisvormen worden de elektroglottogrammen opgesplitst in twee groepen. De relatie die er bestaat tussen de quotiënten en de logaritme van de frequentie wordt benaderd door een rechte lijn (lineaire regressies). Deze lijn is in de figuren aangebracht. Daar waar er een 'registersprong' uit de meetpunten naar voren komt, wordt de lineaire regressie berekend over de afzonderlijke meetpunten per register. Daar waar dit niet het geval is, wordt de lineaire regressielijn van alle meetpunten over het hele frequentiegebied aangegeven. Waar er in het register tevens een significante luidheidsinvloed op het quotiënt bestaat, worden tevens de lineaire regressies van de afzonderlijke luidheidsniveaus bepaald. Voor de overzichtelijkheid worden deze niet in de figuren ingebracht, behoudens voor figuur 60.

Uit de figuren 58 t/m 65 blijkt dat enkele quotiënten, zoals het gesloten quotiënt en het relatieve oppervlak, afhankelijk zijn van de luidheid. In het borstregister is het relatieve oppervlak groter bij toename van de luidheid en in het falsetregister is het groter bij een afnemende luidheid. Deze inverse relatie is niet aanwezig in het gesloten quotiënt, alhoewel daar een gelijke invloed in het borstregister lijkt te bestaan, dat wil zeggen een toename van de grootte van het quotiënt bij een toenemende luidheid. In het falsetregister is

er echter geen bepaalde conclusie te trekken.

Om de invloed van de intensiteit op het quotiënt beter te kunnen beoordelen, werd gebruik gemaakt van de toets van Friedman. De toets werd apart uitgevoerd voor het borstregister en het falsetregister. Door middel van deze toets werd gevonden dat er in het borstregister een significante invloed van de luidheid is waar te nemen op:

- het gesloten quotiënt, waarvan de waarde toeneemt bij toenemende luidheid.
- het open quotiënt, waarvan de waarde afneemt bij toenemende luidheid.
- het relatieve oppervlak, waarvan de waarde toeneemt bij toenemende luidheid.
- de relatieve sluitingsamplitude, waarvan de waarde afneemt bij toenemende luidheid.
- de relatieve openingsamplitude, waarvan de waarde toeneemt bij toenemende luidheid.

In het falsetregister wordt alleen met betrekking tot het relatieve oppervlak een significante invloed gevonden en wel zodanig, dat het relatieve oppervlak afneemt bij toenemende luidheid. Voor géén van de andere relatieve waarden wordt verder een significante luidheidsinvloed gevonden.

In de figuren 58 t/m 65 valt de frequentie-invloed in twee aspecten uiteen:

- er is een bepaalde helling waaronder de regressielijnen verlopen,
- er is een plotselinge overgang waar te nemen bij ongeveer 300 Hz.

Om de helling te kunnen omschrijven is het richtingsverloop van de helling nagegaan. Is er een significante invloed van de frequentie op het quotiënt, dan mag het betrouwbaarheidsinterval van de richtingscoëfficiënt niet de nul bevatten.\* Ligt de nul in dit betrouwbaarheidsinterval dan is de richtingscoëfficiënt niet significant afwijkend van een horizontale lijn en is er geen frequentie-invloed aantoonbaar. Waar de toets van Friedman een luidheidsinvloed aangeeft, mag er niet over de drie luidheidsniveaus gemiddeld worden en wordt de richting nagegaan voor deze drie luidheden afzonderlijk. Zoals reeds is opgemerkt, is de bijdrage van de luidheid op de quotiënten van het falsetregister nihil, met uitzondering van de meetpunten in het relatieve oppervlak.

Het sluitingsquotiënt ( $S_q$ ) in fig. 58 is niet afhankelijk van de luidheid. Dit quotiënt toont tevens een te verwaarlozen frequentie-afhankelijkheid. Het gedraagt zich over het gehele frequentiegebied constant. Een registerovergang

\* We gebruiken het 95% betrouwbaarheidsinterval.

wordt niet gevonden. Aan de stijgflank van het elektroglottogram geschiedt er kennelijk weinig tussen de punten I en II.

Het maximale sluitingsquotiënt ( $Sq_c$ ) in fig. 59 is niet afhankelijk van de luidheid. Er bestaat een significante afname van het quotiënt naarmate de frequentie toeneemt. Dit wordt voornamelijk bepaald door de smaller wordende top, waardoor punt III in de richting van punt II verschuift. Dit quotiënt heeft alleen in de verdere overwegingen een praktische betekenis bij de vergelijking met de in de literatuur opgegeven berekeningen o.a. van Reinsch en Gobsch (1972). Verder wordt er geen duidelijke registerovergang gevonden.

In het gesloten quotiënt ( $Gesl. q$ ) in fig. 60 is er voor zacht foneren in het borstregister een vrij sterke en significante afname van het quotiënt naarmate de frequentie toeneemt. Bij aangenaam foneren is er wederom in het borstregister een afname van het quotiënt bij frequentietoename doch minder uitgesproken dan bij zacht foneren. Ook bij luid foneren wordt er in het borstregister een significante afname van het quotiënt bij frequentiestijging gevonden, doch minder uitgesproken dan bij aangenaam foneren. Verder valt het op dat dit quotiënt bij luid foneren tot 150 Hz constant blijft en daarna afneemt. Er treedt een registersprong op rond 300 Hz. In het falsetregister is er geen luidheids- en frequentie-afhankelijkheid.

Het openingsquotiënt ( $Oq$ ) in fig. 61 toont géén luidheidsafhankelijkheid. Er is een significante afname van dit quotiënt naarmate de frequentie stijgt. Er lijkt een registersprong rond 300 Hz aanwezig te zijn.

In het open quotiënt ( $Open q$ ) in fig. 62 is er in het borstregister voor zacht foneren een significante toename van het quotiënt naarmate de frequentie stijgt. Voor aangenaam foneren geldt hetzelfde als voor zacht foneren. Aanvankelijk lijkt het open quotiënt bij luid foneren in het borstregister constant te zijn, totdat na 200 Hz een toename van het quotiënt blijkt plaats te vinden. Er is een registersprong bij 300 Hz.

In het relatieve oppervlak ( $Ox$ ) in fig. 63 is er een significante afname voor elk van de luidheidsniveau's doch de onderlinge verschillen zijn gering. Er is een duidelijke registerovergang aanwezig. In het falsetregister is er een toename van  $Ox$  naarmate de frequentie stijgt.

De relatieve sluitingsamplitude ( $Arel_s$ ) in fig. 64 toont een kleine, doch significante toename naarmate de frequentie stijgt. Er is geen registerovergang aanwezig. Er is geen luidheidsafhankelijkheid.

De relatieve openingsamplitude ( $Arel_o$ ) in fig. 65 toont voor zacht foneren in het borstregister een significante toename bij stijgende frequentie.

Dit beeld is voor aangenaam foneren overeenkomstig als voor luid foneren, doch wat minder uitgesproken. Ook voor luid foneren is er dezelfde 'trend', doch minder duidelijk dan voor aangenaam foneren. Er is een duidelijke registersprong. In het falsetregister neemt  $Arel_0$  bij een toenemende frequentie af.

De frequentie 300 Hz is voor de relatieve waarden gesloten quotiënt, open quotiënt, relatieve oppervlak en relatieve openingsamplitude een soort breekpunt. Uit de figuren kan afgelezen worden dat de proefpersoon A.S. bij 300 Hz of voor het ene of voor het andere register kiest. De sprong wordt veroorzaakt door een verschuiving van punt IV in het elektroglottogram. Dit heeft gevolgen voor het gesloten quotiënt en de daarmee samenhangende waarde van de relatieve openingsamplitude. De plotselinge verandering in het open quotiënt moet worden toegeschreven aan punt V, dat ten opzichte van punt I verschuift. Dit gaat ongeveer gelijk op met het verschuiven van punt IV, zodat het tussenliggende openingsquotiënt bijna constant blijft. De sprongsgewijze overgang is toe te schrijven aan het overschakelen van de ene registratie naar de andere, respectievelijk van het borstregister naar het falsetregister. In het elektroglottogram is dit als een vrij plotselinge vormverandering waarneembaar (fig. 56).

In het continu uitgeschreven elektroglottogram van proefpersoon C.V., gemaakt tijdens een neerdalend glissando, vindt deze overgang plaats in een klein frequentiegebied. Bij 342 Hz wordt nog een duidelijke falsetvorm gevonden en bij 312 Hz reeds een duidelijke borstregistervorm. Binnen 30 Hz blijkt de fonatie van het ene naar het andere register over te gaan. Zoals uit de figuren blijkt, wordt er slechts één overgang gevonden. Voor de mannenstem ligt deze rond 300 Hz.

## 5.6 De proeven bij zes proefpersonen

### 5.6.1 Opzet van de proeven bij zes proefpersonen

Van zes proefpersonen (M.B., M.H., F.L., H.M., A.S. en C.V.) werden onder dezelfde omstandigheden als bij één proefpersoon (A.S.) elektroglottogrammen opgenomen in de galmarme kamer. De bewerking verliep overeenkomstig, zodat dezelfde quotiënten bepaald worden met een gelijke schaalverdeling. Wederom zal worden nagegaan welke invloed de frequentie en de luidheid hebben op het quotiënt. Uit de meetpunten wordt een rechte lijn berekend, die in principe gebaseerd is op de twee te onderscheiden glottogramvormen. Waar géén duidelijke verschillen tussen de registers optreden, is de regressielijn bepaald over het hele frequentiebereik.

## 5.6.2 Resultaten

De volgende quotiënten worden bepaald (fig. 57):

- het sluitingsquotiënt ( $Sq$ ) in fig. 66
- het maximale sluitingsquotiënt ( $Sq_{\text{t}}$ ) in fig. 67
- het gesloten quotiënt ( $Gesl.q$ ) in fig. 68
- het openingsquotiënt ( $Oq$ ) in fig. 69
- het open quotiënt ( $Open q$ ) in fig. 70.

Daarnaast wordt bepaald:

- het relatieve oppervlak ( $Or$ ) in fig. 71.

Tevens worden berekend:

- de relatieve sluitingsamplitude ( $Arel._s$ ) in fig. 72
- de relatieve openingsamplitude ( $Arel._o$ ) in fig. 73.

Door middel van de toets van Friedman werd de invloed, die de luidheid op het quotiënt uitoefent, getoetst. Er blijkt géén statistische invloed van de luidheid op het verloop van de quotiënten aanwezig te zijn bij de groep proefpersonen als geheel, hoewel dit individueel bij een enkele persoon wel het geval is.

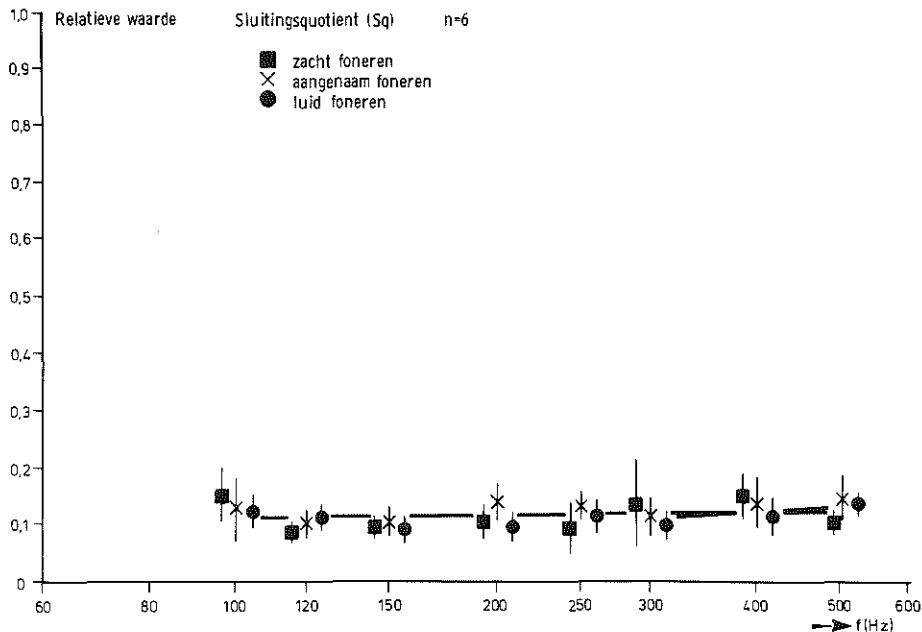


Fig. 66 Het sluitingsquotiënt van zes mannelijke proefpersonen.



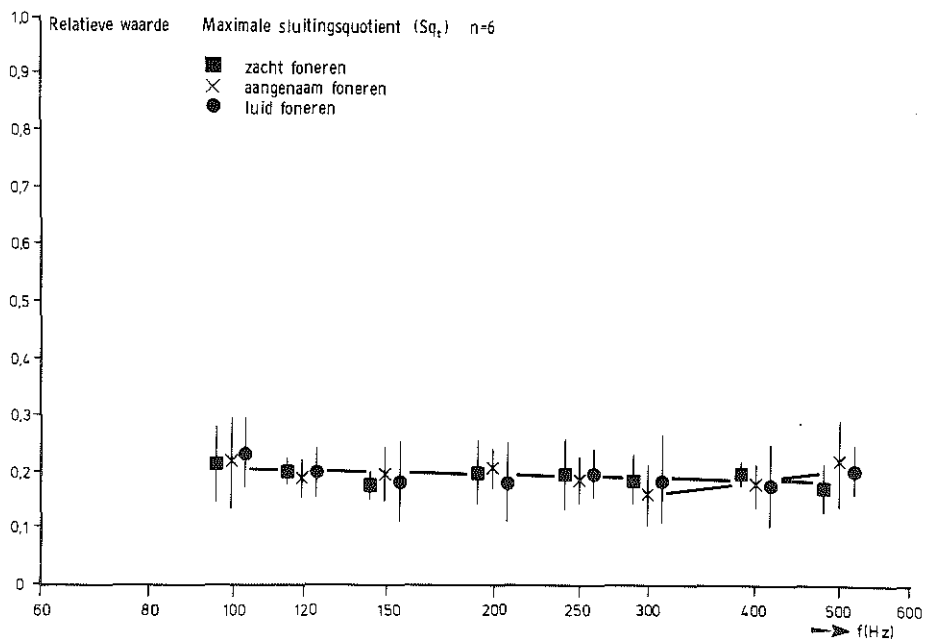


Fig. 67 Het maximale sluitingsquotiënt van zes mannelijke proefpersonen.

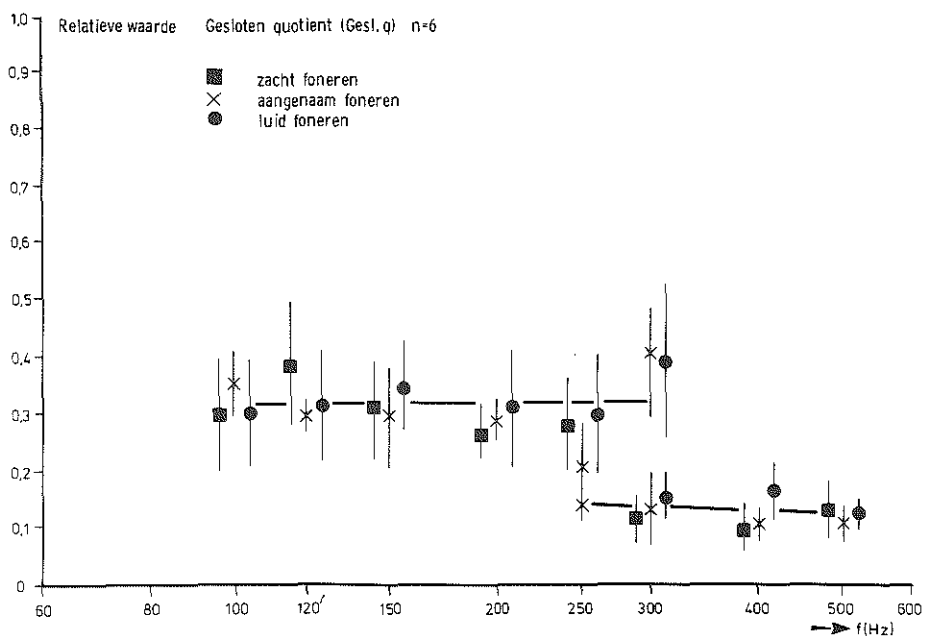


Fig. 68 Het gesloten quotiënt van zes mannelijke proefpersonen.

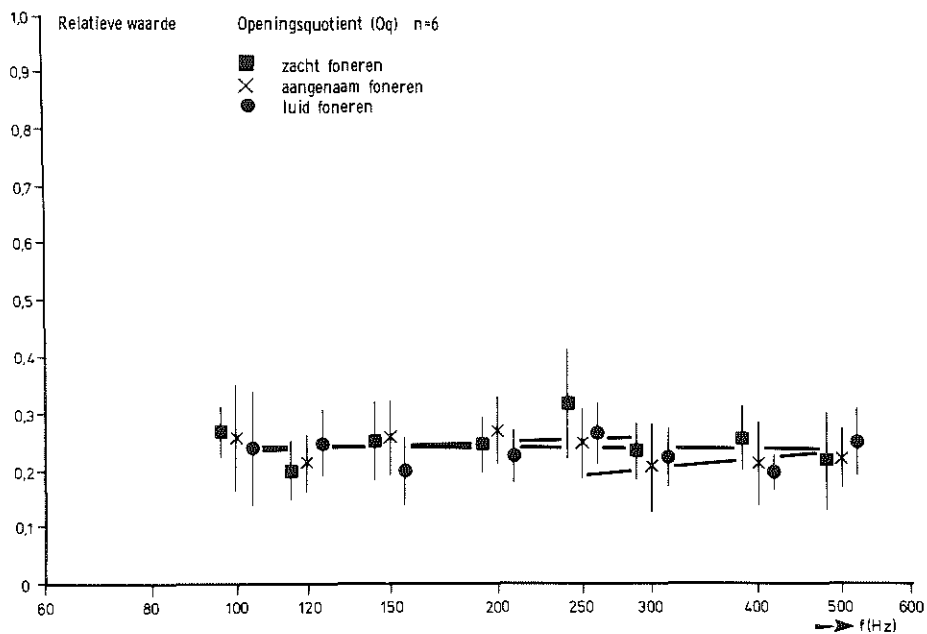


Fig. 69 Het openingsquotiënt van 6 mannelijke proefpersonen.

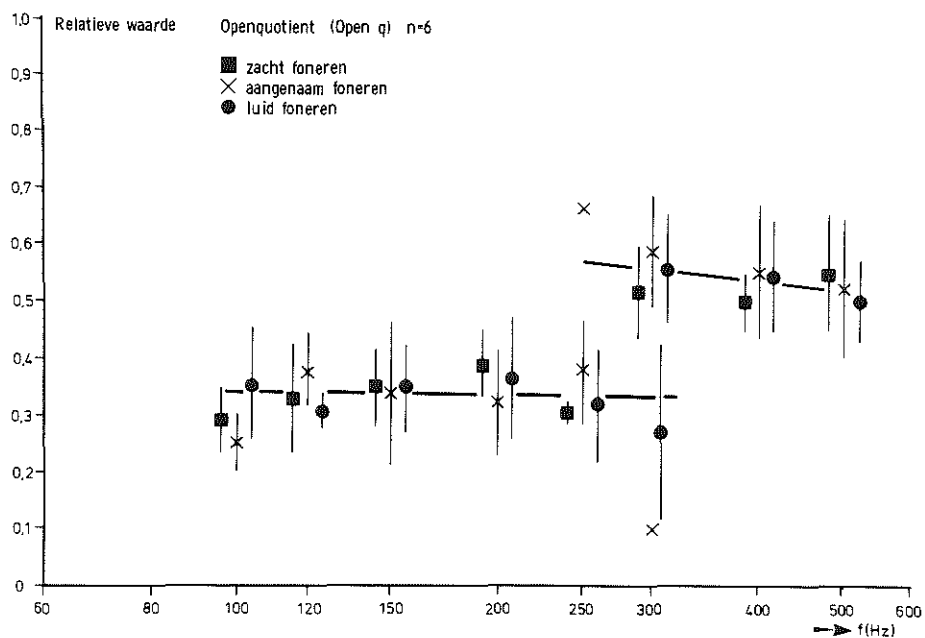


Fig. 70 Het open quotiënt van zes mannelijke proefpersonen.

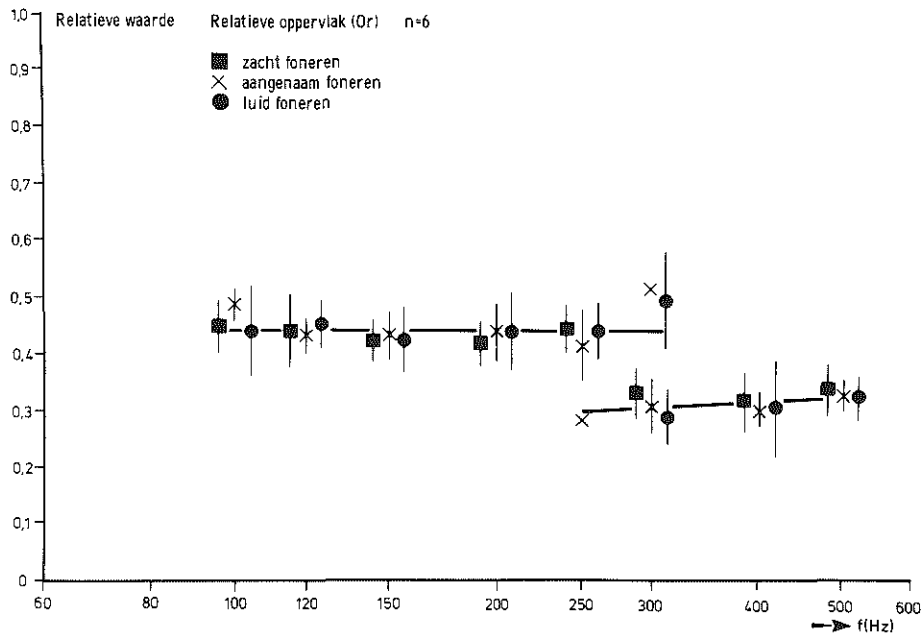


Fig. 71 Het relatieve oppervlak van zes mannelijke proefpersonen.

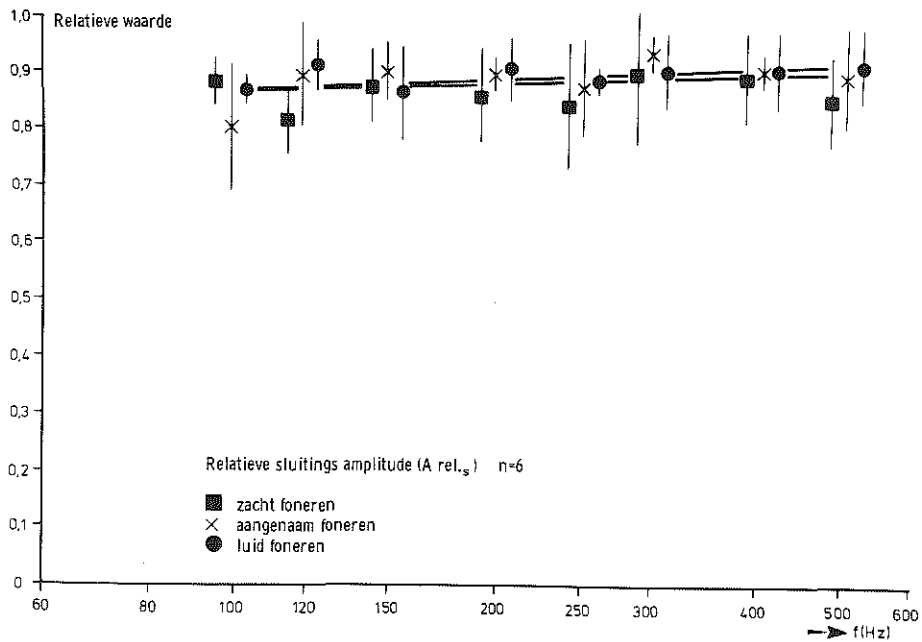


Fig. 72 De relatieve sluitingsamplitude van zes mannelijke proefpersonen.

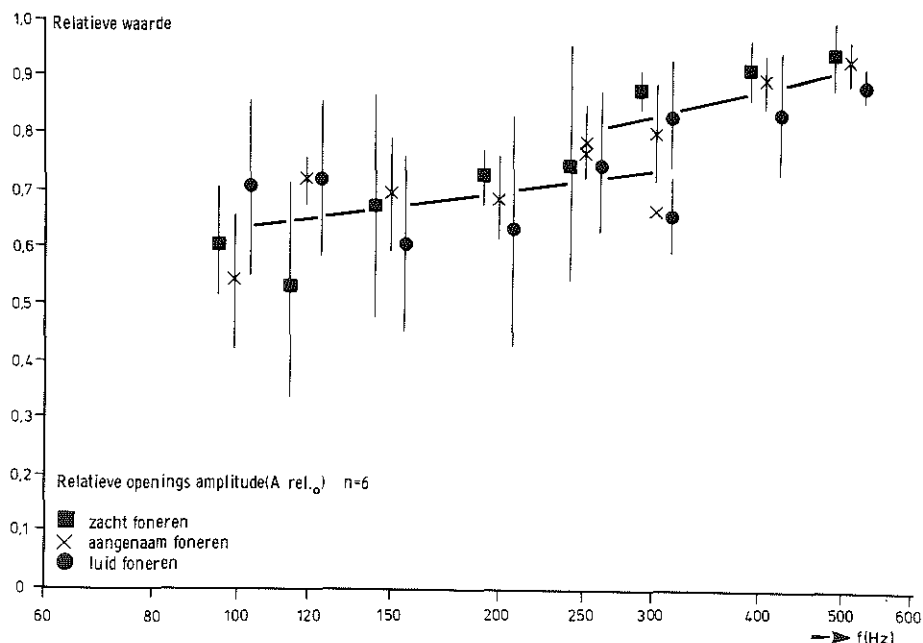


Fig. 73 De relatieve openingsamplitude van zes mannelijke proefpersonen.

De luidheid heeft echter wel invloed op de plaats van de registerovergang en wel in die zin dat bij zacht foneren de overgang van het borstregister naar het falsetregister eerder plaatsvindt dan bij luid foneren. Er is een vrij grote overlapping op het overgangsgebied tussen de registers. Dit komt omdat de ene proefpersoon eerder in het volgende register overgaat dan de andere proefpersoon. Alle elektroglottogrammen zijn voor zacht foneren bij 300 Hz in het falsetregister te vinden, terwijl er bij deze frequentie slechts voor een aantal elektroglottogrammen voor aangenaam en luid foneren een falsetvorm wordt gevonden. Er is door het ontbreken van een significante luidheidsinvloed geen noodzaak tot verdere regressiebepaling per luidheidsniveau.

De invloed van de frequentie op de vorm van het elektroglottogram blijkt bij het uitwerken op het computerscherm voor de zes proefpersonen gelijk aan die bij proefpersoon A.S. We vinden in feite weer twee basisvormen, een breed en asymmetrisch glottogram in het borstregister en een smal en symmetrisch glottogram in het falsetregister. In het lage frequentiegebied komt alleen het eerste type voor, in het hoge frequentiegebied alleen het tweede type. Daartussen is

een overlappingsgebied, waarin beide voorkomen.

In de figuren 66 tot en met 73 is de invloed van de frequentie op de quotiënten gering. De relatieve openingsamplitude is de enige relatieve waarde waarop de frequentie een significante invloed heeft in elk der registers. Bovendien is er een registersprong, die van persoon tot persoon wisselt en gelegen is tussen 250 en 300 Hz. Alle andere quotiënten, het relatieve oppervlak en de relatieve sluitingsamplitude vertonen geen significante frequentie-invloed. Registersprongen worden waargenomen in het gesloten quotiënt, minder duidelijk in het openingsquotiënt, het open quotiënt en het relatieve oppervlak.

Eén van de doelstellingen van dit proefschrift is het bepalen van zogenaamde 'normaalwaarden', die gebruikt kunnen worden bij het elektroglottografisch onderzoek in de praktijk. Door het bepalen van de quotiënten bestaat er een beoordelingsmogelijkheid van de invloed van de frequentie, de luidheid en het register op het elektroglottogram. Men kan deze berekeningen over zes proefpersonen dan ook beschouwen als de 'normaalwaarden' voor de mannelijke proefpersoon, waarbij de spreiding in acht genomen moet worden.

Omdat er geen frequentie-afhankelijkheid bestaat, mag over de gevonden waarden met uitzondering van  $Arel._o$  worden gemiddeld. Doen we dit gemakshalve voor  $Arel._o$  dan wordt er uiteraard een grotere spreiding gevonden. Daar waar er geen registersprong is, wordt over de gehele frequentie-omvang gemiddeld. De volgende gemiddelden kunnen worden opgegeven:

Tabel II

Quotiënt	borstregister	falsetregister
$Sq$	$0,11 \pm 0,04$	
$Sq_t$	$0,19 \pm 0,05$	
Gesl.q	$0,32 \pm 0,09$	$0,12 \pm 0,04$
$Oq$	$0,23 \pm 0,07$	
Open q	$0,33 \pm 0,10$	$0,54 \pm 0,10$
Or	$0,45 \pm 0,05$	$0,32 \pm 0,05$
$Arel._s$	$0,88 \pm 0,07$	
$Arel._o$	$0,67 \pm 0,14$	$0,88 \pm 0,07$

Welke conclusies zijn er uit de quotiënten te trekken? Bij proefpersoon A.S. wordt zowel een luidheidsinvloed als een frequentie-invloed op bepaalde quotiënten gevonden. De frequentie-invloeden kunnen gesplitst worden in de hellingen en de registersprong. Bij de zes proefpersonen wordt géén luidheidsinvloed gevonden en wat betreft de frequentie-invloed alleen een registersprong. Dit met uitzondering voor Arel.<sub>o</sub>.

In feite is er bij het sluitingsquotiënt (fig. 58 en 66) geen sprake van een frequentie-afhankelijkheid. Dit houdt in dat de periodetijd, gedeeld op de totale tijd om van punt I naar punt II in het elektrolottogram te komen een constante waarde heeft, die niet door de registersprong beïnvloed wordt. Dit betekent dat, wanneer de frequentie tweemaal zo hoog wordt, de sluiting ook tweemaal zo snel gaat.

Alhoewel er bij de proefpersoon A.S. een significante afname van het maximale sluitingsquotiënt (fig. 59 en 67) bestaat bij een stijging in de frequentie, wordt dit gedrag niet meer in de groep van zes aangetroffen. Dit quotiënt wordt bepaald door een constant punt I en een mobiel punt III, dat de top van het elektrolottogram is en dat door de smaller wordende top naar links verschuift naarmate de frequentie bij proefpersoon A.S. stijgt. Het maximale sluitingsquotiënt is telkens meeberekend omdat in de literatuur waarden worden opgegeven die zijn ontstaan door het traject top-dal te berekenen. Alleen voor een vergelijking daarmede is dit quotiënt van belang. Wat er uit volgt is de berekening van de relatieve sluitingsamplitude, die de constante waarde van punt II benadrukt benevens het opmerkelijke feit dat alle veranderingen in het elektrolottogram zich hoofdzakelijk in het gebied tussen punt III en punt I van het volgende elektrolottogram voordoen.

Het gesloten quotiënt (fig. 60 en 68), bepaald door de punten II en IV, toont bij de proefpersoon A.S. en de groep van zes een aantal opmerkelijke verschillen.

Voor proefpersoon A.S. kan het volgende worden opgemerkt. Het gesloten quotiënt heeft voor de verschillende luidheden niveaus met als gemeenschappelijke tendens, dat er een afname is naarmate de frequentie toeneemt. Deze afname is voor de luide fonatie het geringst, terwijl de meetpunten boven die van de andere luidheden liggen. Op deze manier wordt een waaier verkregen, die open staat naar het falsetregister. De waaier bestaat uit de bekende regres-

sielijnen. Letten we in fig. 60 op het verloop van de meetpunten voor luid foneren, dan blijkt er een vrij constant niveau tot 250 Hz te worden gevonden, waarna het quotiënt gaat afnemen. Welke verklaring kan er aan het verloop van het gesloten quotiënt bij proefpersoon A.S. gegeven worden? Hiervoor moet men zich realiseren dat het elektroglottogram een impedantieverandering is ten gevolge van het contact, dat beide stembanden met elkaar maken tijdens de trillingscyclus. Het gesloten quotiënt in het bijzonder geeft uitdrukking aan het contact dat er tussen beide stembanden over de volle stembandlengte bestaat vanaf het eerste moment dat dit contact over de gehele lengte plaats heeft (punt II) en het moment dat dit contact over deze lengte weer verbroken gaat worden (punt IV). Sterker gesteld is het feitelijk de dikte die in deze periode varieert, aangezien de lengte een vaste waarde heeft. Waarom neemt in het gesloten quotiënt bij proefpersoon A.S. het contactvlak af? Bepalend zijn weer de fysische wet:

$$f_o = c \sqrt{\frac{\alpha}{m}}$$

en de wet van Bernoulli:  $p + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{Constant}$

$p$  = statische druk

$\rho$  = dichtheid

$v$  = stroomsnelheid

In het borstregister is er een zekere stembandmassa ( $m$ ) die in trilling is. In het falsetregister is deze massa aanzienlijk afgenomen. Dit komt in het elektroglottogram van het gesloten quotiënt tot uitdrukking als het verschil tussen de waarden voor het borstregister en het falsetregister. Aangezien de frequentie ( $f_o$ ) toeneemt, moet de spanning ( $\alpha$ ) toenemen of de massa ( $m$ ) afnemen. Bij een hogere waarde voor  $\alpha$  zal de flow een grotere snelheid moeten hebben om het systeem in trilling te houden. Bij een lagere massa ( $m$ ) wordt de beweging minder gedempt. Dit heeft tot gevolg dat het systeem in trilling kan worden gehouden met een lagere snelheid van de flow. Dat wil zeggen dat, als de massa afneemt, de flow niet hoeft toe te nemen. Men kan dan als het ware zuinig omspringen met de flow.

Dit is toe te passen op de resultaten van proefpersoon A.S. De afnemende grootte van het gesloten quotiënt vindt plaats op grond van een afnemende massa. Dit lijkt de meest efficiënte wijze voor het doen toenemen van de frequentie in plaats van een toename van  $\alpha$ . Dit verloopt anders bij de meeste proefpersonen (fig. 68). Er is hier geen duidelijke afname van de massa, aangezien het quotiënt in het borstregister vlak blijft verlopen. De frequentieverhoging is hier een

gevolg van een toename van  $\alpha$ . Er wordt dus meer door de spanningsverandering geregeld dan door massaverandering. Dit eist meer flow. Dergelijke proefpersonen werken feitelijk minder efficiënt met hun larynx. Neemt de spanning meer toe dan volgens de wet van Bernoulli is toegestaan, dan wordt er vrij scherp naar het falsetregister overgeschakeld. Het moment van overschakelen wordt mede bepaald door de subglottische resonantiepiek bij 300 Hz en door de luidheid van foneren.

Bij proefpersoon A.S. valt het verder op dat het eerste gedeelte van het gesloten quotiënt bij luid foneren nog een vlak verloop heeft tot 150 Hz. Luid foneren kan met een betrekkelijk geringe flow plaatsvinden mits de glottisopening in de open fase klein is. Dit uit zich in een groter gesloten quotiënt. Voor deze kleine glottisopening is echter een grotere randspanning nodig. Bij een lage frequentie is aan deze randspanning een grens gesteld daar anders de grondfrequentie immers niet laag genoeg komt. Bij lage frequenties is de trillende massa maximaal. Er is dan nog slechts met  $\alpha$  te regelen om op een nog lagere frequentie te kunnen trillen. Daardoor is er een minimale grenswaarde voor  $\alpha$ , welke weer de laagst bereikbare grondfrequentie bepaalt. Bij een hogere frequentie neemt de spanning toe en dit heeft een grotere luidheid tot gevolg. Is echter een marginale randspanning, welke bij de gevraagde eis past, bereikt, dan wordt de frequentie verder door een massa-afname geregeld. Dit uit zich in een afname van het gesloten quotiënt, zoals dit bij proefpersoon A.S. na 150 Hz bij luid foneren plaatsvindt. Deze beschrijving moet ook uit het fonetogram blijken (fig. 74).

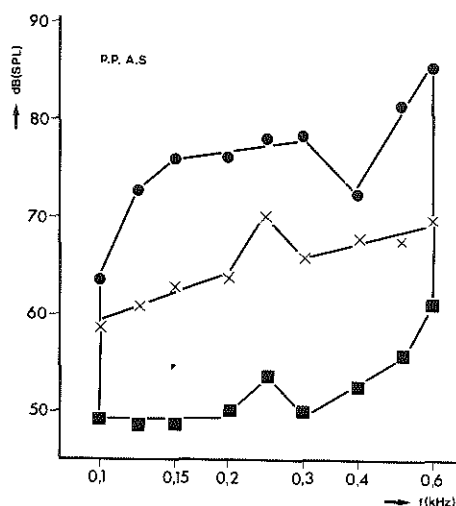


Fig. 74

Het fonetogram van proefpersoon A.S.

luid foneren

aangenaam foneren

zacht foneren



Bij zacht foneren toont het fonetogram een vlak verloop tot 200 Hz. Er is dus kennelijk geen flowtoename omdat de intensiteit niet toeneemt. De frequentieverhoging komt niet tot stand door een verhoging van de interne spanning, maar door een massa-afname. Bij luid foneren is er echter tot 150 Hz een sterke intensiteitstoename en volgens de gevolgde gedachtengang waarschijnlijk ook een sterke toename van de flow door een grote randspanning. Daarna neemt de luidheid in het fonetogram af en kan geconcludeerd worden dat frequentieverhoging door massa-afname tot stand komt. Dit uit zich in een afname van het gesloten quotiënt. De hypothese dat proefpersoon A.S. op een andere wijze dan de groep van proefpersonen met de verhouding  $\frac{a}{b}$  werkt bij de sluiting van zijn stembanden kan ook blijken uit het feit dat het<sup>m</sup>gesloten quotiënt een hogere waarde bij 100 Hz heeft en pas na enige tijd op het gemiddelde van de andere proefpersonen van 0,32 uitkomt. Er is in de loop van de onderzoeksperiode van dit proefschrift ook gemeten bij getrainde zangers. Alhoewel de meetresultaten daarvan niet aan de orde komen blijkt bij deze getrainde stemmen het gedrag ongeveer overeen te komen met dat van proefpersoon A.S. Deze zangers lijken de frequentie te regelen door massaveranderingen, die aanleiding geven tot een geleidelijke afname van het gesloten quotiënt.

Daarom kan gesteld worden dat de massaverandering kan blijken uit het verloop van het gesloten quotiënt. Is er géén massaverandering in het borstregister, zoals verondersteld wordt bij de groep van zes proefpersonen, dan is er een vlak verloop van dit quotiënt en is er géén invloed van de luidheid aanwezig. Is er wel een massaverandering, dan neemt het gesloten quotiënt in het borstregister af bij een afnemende massa en is er een significante invloed van de luidheid op het quotiënt aanwezig. Dit laatste geschiedt, omdat er een grote spanningstoename is bij luid foneren en dientengevolge een grotere massa, terwijl bij zacht foneren er een kleine interne spanning is met een kleine massa. Is er een afname van het quotiënt in het borstregister aanwezig, dan kan daarmee een registerovergang gecamoufleerd worden, aangezien de massaverandering niet zo groot hoeft te zijn op het moment van de passage.

Doordat punt IV naar boven verschuift kan een afname van het openingsquotiënt (fig. 61 en 69) plaatsvinden bij proefpersoon A.S. Dit opschuiven van punt IV wordt duidelijk uit de waarde van de relatieve openingsamplitude. Neemt men echter een kleine maar significante registersprong in aanmerking, dan is er geen overtuigende verandering van het openingsquotiënt binnen de registers. In figuur 69 is er geen frequentie-invloed zichtbaar. Hieruit valt de conclusie te trekken, dat het openingsquotiënt een vrij constant traject omvat evenals dat het geval is

bij het sluitingsquotiënt. Bij de gemiddelde waarden voor de proefpersonen blijkt het openingsquotiënt tussen twee variërende waarden, het gesloten quotiënt en het openingsquotiënt, als een constante waarde te liggen. Daalt het gesloten quotiënt na een registerovergang met 0,20, dan stijgt het open quotiënt met 0,20 doch het openingsquotiënt en het sluitingsquotiënt blijven gelijk.

Het open quotiënt (fig. 62 en 70) is de periode waarin de stembanden open zijn en geen impedantie-afname is te meten. De waarde van het open quotiënt, die wordt bepaald door het traject V-I, neemt bij proefpersoon A.S. met de frequentie toe. Bij de zes proefpersonen is dit niet het geval. Dit hangt ongetwijfeld samen met de beschreven activiteiten van het gesloten quotiënt.

Immers:  $Sq + Gesl.q + Oq + Open\ q = 1$

$Sq + Oq = \text{constant}$

$Gesl.q + Open\ q = 1 - C.$

Dit betekent dat iedere verandering in het gesloten quotiënt een verandering in het open quotiënt tot gevolg heeft. De gevolgde gedachtengang over het gesloten quotiënt zowel wat betreft de invloed van de frequentie als wat betreft de invloed van de luidheid geldt dus ook voor het open quotiënt.

Doordat de computer zelf de gemiddelde waarde instelt en de berekening van het relatieve oppervlak daardoor objectief verloopt, onderscheidt deze relatieve waarde zich van de andere quotiënten. Het relatieve oppervlak wordt bepaald door de mate van de sluiting van de stembanden op ieder moment van de trillingscyclus, in feite een integratie van het stembandcontactvlak over de tijd (T). Uit figuur 63, het relatieve oppervlak van proefpersoon A.S., kan de conclusie getrokken worden dat de mate van stembandcontact in het borstregister toeneemt met de frequentie. Dezelfde tendens wordt aangetroffen bij het gesloten quotiënt. In het falsetto echter is de situatie bij proefpersoon A.S. omgekeerd. Hier lijkt het contact af te nemen met een toenemende luidheid. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een grotere flow, die het contact aanzienlijk bemoeilijkt bij een toenemende luidheid, omdat de stembandmassa is afgenomen en de adducerende krachten niet meer optimaal zijn. Waarom de relatieve waarden toenemen naarmate de frequentie in het falsetto oploopt is niet zonder meer verklaarbaar. Er moet evenwel niet uit het oog verloren worden dat er ook een artefact in het spel kan zijn. Immers het elektroglottogram wordt in het falsetto veel kleiner, zodat het vóór de bewerking door de AVC versterkt wordt. Dit houdt in dat er ter hoogte van punt I en punt V door deze versterking een extra oppervlak gecreëerd kan worden, dat door de computer wordt meeberekend. Dit extra oppervlak is een gevolg van geringe activiteiten van de voorste en achterste commissuur, die zowel in het borst-

register als in het falsetregister een rol spelen. Door extra versterking in het falsetregister door de AVC geeft deze activiteit een extra groot oppervlak.

Door het objectieve karakter en de betrouwbaarheid van de meting in het borstregister wordt het relatieve oppervlak beschouwd als een controle op het gesloten quotiënt, dat de tijd aangeeft gedurende welke de glottis gesloten is.

De relatieve sluitingsamplitude (fig. 64 en 72) is zowel bij proefpersoon A.S. als bij de groep van zes een waarde, die zeer weinig toeneemt met de frequentie. Deze vrijwel frequentie-ongevoelige waarde geeft aan dat punt II zich op een vrijwel constant niveau op de stijgflank bevindt. Het is echter niet zo dat hieruit gesteld kan worden dat het sluiten van de stembanden over de volle lengte (traject I-II) en het maken van het totale contactvlak traject(I-III) in absolute zin niet verandert. De verhouding tussen sluiting over de lengte alleen en de vorming van het totale contactvlak blijft over de beide registers constant, doch in het borstregister is het stembandooppervlak beduidend groter dan in het falsetregister.

De relatieve openingsamplitude (fig. 64 en 73) is bij proefpersoon A.S. en de groep van zes frequentiegevoelig en toont bovendien een registersprong. Deze waarde geeft aan dat punt IV, het moment van eerste opening van de stemspleet, mobiel is en naar de top verschuift naarmate de frequentie toeneemt. Doordat de daalflank na de registersprong steiler wordt, komt de verschuiving van punt IV als projectie op de basis evenwel niet zo duidelijk naar voren. Daarom verschuift het openingsquotiënt niet met de stijgende frequentie, doch verschuift het openingstraject (IV-V) wel. Dit blijkt uit de waarde van  $Arel._o$ .

In het falsetregister is de waarde van  $Arel._o$  gelijk aan de waarde van  $Arel._s$  (0,88). Dit betekent dat in het falsetregister het stembandcontactvlak op het moment van open gaan even groot is als het stembandcontactvlak op het moment waarop de glottis net gesloten is.

In het gesloten quotiënt, het open quotiënt, het relatieve oppervlak en de relatieve openingsamplitude van de proefpersonen wordt een registerovergang gevonden. Dit betekent dat slechts twee registers zijn te onderscheiden namelijk het borst- en het falsetregister. De frequentie, waarbij de passage plaatsvindt, is afhankelijk van de luidheid van foneren. Bij zacht foneren vindt de overgang eerder plaats. Bij 250 Hz wordt éénmaal een overgang gevonden en wel voor aangenaam foneren. Bij 300 Hz wordt bij negen metingen een overgang gevonden voor zacht foneren, bij vier metingen voor aangenaam foneren en bij vier metingen voor luid foneren. Bij 400 Hz worden nog twee overgangen voor zacht foneren gevonden, zes

overgangen voor aangenaam foneren en zeven overgangen voor luid foneren. Hieruit blijkt dat bij 300 Hz over het algemeen zacht wordt gefoneerd in het falsetregister doch dat aangenaam en luid foneren in het borstregister plaatsvinden. Dit komt overeen met de bevindingen in het fonetogram van de mannelijke proefpersonen (fig. 54 en 74), waarin de dip die de registerovergang aangeeft, ook onder invloed van de luidheid opschuift.

## 5.8 De keuze van de vocaal bij het maken van een elektroglottogram

### 5.8.1 Inleiding

In het algemeen kan men zeggen dat een klinker een produkt is van de toongenerator, de larynx, en het aanzetstuk, de resonator. Het lage of hoge karakter, alsmede de intensiteit worden bepaald door de generator. Het onderscheid in de klinkers ontstaat in het aanzetstuk door de vorming van formanten, de specifieke resonantiepieken.

Bij het registreren van het elektroglottografisch signaal worden de trillingsactiviteiten van de stembanden weergegeven. Het kan derhalve voor een beter begrip van het onderzoek van belang zijn te weten of de glottis als geluidsproducent één primaire klank voortbrengt, waarop wordt gemoduleerd, of dat er sprake is van verschillende door de vocaalkeuze bepaalde klanken. De primaire klank, ook wel primaire glottistoon genoemd, is het basisgeluid dat direct boven de glottis te registreren valt, vóórdat het geluid door het aanzetstuk gefilterd en versterkt wordt. Wanneer er sprake is van één primaire klank, dan zou de vorm van het elektroglottogram voor alle vocalen gelijk moeten zijn. De vocaalkeuze doet dan relatief weinig ter zake.

Op het gebied van de primaire stemklank zijn onderzoeken gedaan door Beckmann (1956), Oeken (1962), Arndt (1962) en Paulsen (1965 en 1966). Bij verschillende patiënten met een groot stoma direct onder de larynx werd elektro-akoestisch onderzoek verricht. Ook werden de larynxpreparaten onderzocht, nadat deze succesievelijk waren ontdaan van gedeelten van het aanzetstuk, waarbij erop werd toegezien dat de stembanden zelf onberoerd bleven.

Alle auteurs stemmen in hun bevindingen overeen. De primaire stemklank is een toon, die rijk is aan boventonen. Deze toon heeft sterke overeenkomsten met de vocaal /a:/ en de daarvan afgeleide /ε/ en is niet afhankelijk van de klinkerkeuze. Een verandering in het register leidt wel tot een andere klank, doch ook deze blijft ongevoelig voor de vocaalkeuze. Paulsen (1965) is van mening dat de invloed van de koppeling van het aanzetstuk met de stembanden slechts van geringe invloed is.

Door verschillende onderzoekers is de invloed van de vocaalkeuze op het elektroglottogram nagegaan. Oreskovic (1962) maakte melding van een apart elektroglottogram voor de groep a-o-u en voor de groep e-i. Het onderzoek betrof Servo-Kroatische taalklanken. Decroix (1958) deelde in een discussie met Oreskovic mee dat er voor iedere Franse klinker een elektroglottogram bestond, dat klinkerspecifiek was. Holm (1969) gaf een apart elektroglottogram aan voor iedere vocaal uit de reeks i-e-a-o-u. Bij een eerste aanblik lijken zijn elektroglottogrammen identiek. Wanneer echter nauwkeurig gelet wordt op knikken en plateau's in het openingsgebied dan blijkt de i gekenmerkt te worden door een speciale knik. De e-a-o kenmerken zich door een plateau, terwijl de u een dubbeltop heeft. Tsjaplin (1970) onderzocht de elektroglottogrammen van de Russische klinkers a-e-u-y-o, in de Nederlandse taal overeenkomend met respectievelijk /a:/, /ɛ/, /i/, /u/ en /o:/. De verschillende vocalen vertoonden verschillende elektroglottogrammen. De /i/, /u/, /o:/ tonen dubbeltoppen, in tegenstelling met de /a:/ en /ɛ/. De stemspleet zou volgens Tsjaplin per klinker een andere configuratie vertonen door koppelingsaspecten uit het aanzetstuk.

Bij de hierboven aangehaalde onderzoekers is er geen overeenkomst in het opnemen van de klanken. De i-a-u van Holm komen uit de woorden viel malen-Mut, dat wil zeggen uit de zogenaamde spraakkern van een woord. De vocalen bij Tsjaplin werden daarentegen gezongen.

De conclusie van de genoemde onderzoekers is, dat er voor iedere klinker sprake is van een specifiek elektroglottogram, zonder dat er een gemeenschappelijke indeling kan worden gemaakt.

Hiertegenover staat de visie van Lhote (1973). Zij laat een onderlinge overeenkomst zien in de Franse klinkers a-i-e-u. Gaan deze klinkers evenwel over in sonore consonanten zoals de m en de n, dan is er een vormverandering van het elektroglottogram waar te nemen. Tevens maakt zij melding van een persoonsgebonden elektroglottogram, dat niet binnen het subject, doch wel intersubjectief verandert.

#### 5.8.2 Meetmethode

De vocalen /a:/, /ɛ:/, /i/, /o:/, /y/ en /u/ worden bij proefpersoon F.L. opgenomen bij een frequentie van 150 Hz. De proefomstandigheden zijn dezelfde als beschreven voor de quotiëntberekeningen. Het experiment wordt alleen bij de zogenaamde 'aangename luidheid' gedaan. De quotiënten van de diverse vocalen worden in tabel III uitgezet.

Tabel III.

De gemiddelde waarden van de quotiënten voor verschillende vocalen.  
Proefpersoon F.L.

Vocaal	$S_q$	$S_{qt}$	Gesloten <sub>q</sub>	$O_q$	Open <sub>q</sub>	$O_r$	$Arel_s$	$Arel_o$
á (a)	0,06	0,13	0,28	0,23	0,43	0,38	0,86	0,72
ee (e)	0,04	0,11	0,32	0,16	0,48	0,41	0,82	0,79
ii (i)	0,06	0,18	0,43	0,15	0,36	0,47	0,89	0,55
ó (o)	0,06	0,13	0,34	0,13	0,47	0,38	0,88	0,55
uu (y)	0,07	0,15	0,36	0,14	0,43	0,41	0,91	0,57
oe (u)	0,07	0,16	0,34	0,16	0,43	0,40	0,84	0,62

### 5.8.3 Resultaten

Het is opvallend dat de onderlinge verschillen in het merendeel van de quotiënten niet groot genoemd kunnen worden. Voor de vocaal /i/ wijkt bij het gesloten quotiënt de gevonden waarde af van die van de andere vocalen. De vocaal /i/ is een gesloten vocaal. Door het afwijkende gesloten quotiënt ontstaan ook een afwijkend open quotiënt en relatieve openingsamplitude.

### 5.8.4 Discussie

Het groter worden van het gesloten quotiënt en het kleiner worden van de relatieve openingsamplitude kunnen verklaard worden met behulp van een mededeling van Isshiki, geciteerd door Vennard (1967). De subglottische druk blijkt tussen de vocalen /i/ en /a:/ te verschillen wanneer beide klinkers met een gelijke intensiteit worden geproduceerd. Dit kan geschieden doordat de proefpersoon de intensiteitsmeter zelf kan aflezen tijdens de geluidsproductie. Is dit evenwel niet het geval en wil de proefpersoon de /i/ en de /a:/ op een gelijke subjec-

tieve luidheid voortbrengen, dan blijkt de subglottische druk gelijk te zijn, doch de door de onderzoeker afgelezen intensiteit voor /i/ lager te zijn. Derhalve is de subglottische druk voor /i/ bij een gelijke intensiteit groter. Dit zou ook opgaan voor /u/. Er zijn geen gegevens over /o:/. Door de relatieve luidheidsverhoging voor /i/ kan het gesloten quotiënt en de daarmee samenhangende relatieve openingsamplitude in bovengenoemde zin veranderen.

Het is niet onmogelijk dat het karakter van de gesloten vocaal /i/ wel een terugkoppeling op de glottis tot stand brengt, omdat de glottistoon bij een grotere supraglottische impedantie geproduceerd wordt. Op grond van ons quotiëntenonderzoek uit tabel III wordt evenwel gesteld dat er geen grote verschillen worden waargenomen tussen de elektroglottogrammen van de verschillende klinkers. Kennelijk werkt de larynx als een constante generator, met uitzondering voor wat werd opgemerkt over de vocaal /i/. In feite maakt de vocaalkeuze niet zoveel uit.

De keuze van de vocaal /a:/ wordt op grond van enkele andere aspecten nog nader toegelicht.

Zo blijkt bij een zekere subglottische druk de uitgestraalde energie voor de vocaal /a:/ groter te zijn dan voor elke andere klinker. Anders gesteld: voor een gelijke intensiteit is de subglottische druk voor de vocaal /a:/ het laagst. Wat het geluidsvolume betreft werkt de larynx bij /a:/ kennelijk het meest efficiënt, (Vennard, 1967). Van de vijf genoemde klinkers is /a:/ de minst gemodificeerde toon en ligt zij qua akoestische structuur het meest nabij de primaire glottistoon. Bij de vocalisatie /a:/ functioneert de larynx doorgaans in een middenpositie en vrij ontspannen. Op röntgenopnamen van de larynx bij de productie van /a:/ ziet men in een voor-achterwaartse positie goed afgetekende stembanden met een ruime sinus Morgagni, zodat de stembanden vrij van hun omgeving trillen. Op grond van deze laatste aspecten lijkt de vocaal /a:/ de meest aangewezen klinker voor de elektroglottografie, ondanks het feit dat een werkelijk vocaalonderscheid niet behoeft plaats te vinden.

## 5.9 De invloed van de keuze van het elektroglottogram op de quotiënten

### 5.9.1 Inleiding

De gepresenteerde gegevens berusten alle op willekeurig gekozen elektroglottogrammen uit een fonatie van minstens vijf seconden. Het is niet onmogelijk dat de resultaten beïnvloed worden door de keuze van een bepaald rangnummer van het elektroglottogram. Daarom zal worden nagegaan welke variatie er bestaat tussen de opeenvolgende elektroglottogrammen. Het is uit de elektroglottografie bekend, dat de start van de fonatie een aantal kleinere elektroglottogrammen laat

zien, omdat de vibratie op gang moet komen. Ook het stoppen van de fonatie laat een aantal atypische elektroglottogrammen zien, omdat de trilling gedempt uitslingert. Daarnaast wordt aangenomen dat zoals bij iedere biologische activiteit er altijd een zekere variatie bestaat in de opeenvolgende gebeurtenissen, dus ook in de opeenvolgende elektroglottogrammen.

#### 5.9.2 Methode en resultaten

Bij aangenaam foneren worden op drie frequenties, 120 Hz, 200 Hz en 400 Hz, in een registratietijd van vijf seconden om de 0,5 seconde de elektroglottogrammen verzameld. Er zijn dus tien elektroglottogrammen per frequentie te analyseren. Van de in totaal dertig elektroglottogrammen worden alle quotiënten op de gebruikelijke wijze bepaald. De gemiddelde waarden worden in tabel IV gegeven met de berekende standaardafwijking.

Tabel IV

Quotient	120 Hz		200 Hz		400 Hz	
	Gemiddelde waarde	Standaardafwijking	Gemiddelde waarde	Standaardafwijking	Gemiddelde waarde	Standaardafwijking
$S_q$	0,087	0,005	0,123	0,008	0,115	0,014
$S_{qt}$	0,186	0,012	0,201	0,004	0,195	0,013
Gesloten $_q$	0,376	0,024	0,190	0,019	0,159	0,019
$O_q$	0,108	0,035	0,194	0,046	0,122	0,008
Open $_q$	0,428	0,029	0,492	0,038	0,604	0,011
$O_r$	0,446	0,011	0,406	0,006	0,378	0,010
$Arel_s$	0,786	0,039	0,857	0,019	0,827	0,065
$Arel_o$	0,392	0,049	0,821	0,019	0,897	0,024

Tabel IV

Van tien elektroglottogrammen per opgegeven frequentie worden de gemiddelde waarden en de standaardafwijking opgegeven. De elektroglottogrammen zijn uit een fonatietijd van vijf seconden om de 0,5 seconden verzameld.  
Proefpersoon M.B.



### 5.9.3 Discussie

In alle gevallen blijkt de standaardafwijking van het gemiddelde erg klein te zijn ten opzichte van de spreiding in de quotiënten van meerdere proefpersonen (tabel II). Er kan derhalve gesteld worden dat, wanneer een veiligheidsmarge aan de randen van de fonatietijd genomen wordt, in ons geval na 0,5 seconde en minstens 0,5 seconde vóór het einde van de fonatie, er geen duidelijke invloed aanwezig is van de keuze van het elektroglottogram bij het bepalen van de quotiënten. Een willekeurig elektroglottogram is dus representatief voor alle elektroglottogrammen uit dezelfde fonatie.

## 6.1 Inleiding

Fabre schreef over de betekenis in 1957:

'L'amplitude du courant électrique sera donc modulée par l'accolement des cordes vocales. Il y aura proportionnalité entre l'amplitude du courant modulé et le degré d'accolement glottique. La résistance au courant diminue en effet en raison de la surface selon laquelle se joignent les lèvres des cordes vocales. L'inscription de la modulation du courant après détection, traduira donc fidèlement de la cinétique glottique'.

Zonder aan de waarde van veel onderzoek af te doen (Gougerot, 1960; Chevré-Muller, 1962; Greymy, 1962; Husson, 1962; Striglioni, 1962; Dordain, 1967 en Vallancien, 1972, hebben Fant en Ondračková (1966) pas de eerste nauwkeurige beschrijving van de golfvorm van het elektroglottogram gegeven, welke door Fabre al enigszins was beschreven: 'Once the vocal cords when closing have made contact at same point there will follow a further rapid resistance decrease because of the contact progressing horizontally and vertically, thus offering an increased area of conductance for the glottograph current' (zie fig. 32).

Dat er een relatie moest bestaan tussen een stembandcontactvlak en een elektroglottogram werd ook door Fourcin (1971), Reinsch (1972) en Frøkjær-Jensen (1973) gesuggereerd, zonder dat de fase van de vibratie van de stembanden nauwkeurig was te correleren met de golfvorm van het elektroglottogram. Alleen de allereerste sluiting was geen probleem. Deze werd gevolgd door een snelle afname van de elektrische impedantie (zie fig. 32 I<sup>A</sup> en I<sup>B</sup>). Voor de nauwkeurige beschrijving is het onderzoek dat beschreven wordt in dit proefschrift van belang gebleken. Tot heden is er nog niet over onderzoek op geëxideerde larynxen in samenhang met elektroglottografie gepubliceerd. Wel wijzen opmerkingen van Boberg (1975), Kitzing (1975), Gordon (1977) en Pedersen (1977) op grond van klinisch onderzoek in de richting van de eigen bevindingen, met name voor wat betreft het belang van een gesloten quotient. Omdat echter een juiste beschrijving van de normaalwaarden (tabel II, blz. 123) tot nu toe ontbrak, is de kwantitatieve evaluatie van stemproblemen in de klinische routine niet tot stand gekomen. Wel werden pogingen daartoe ondernomen (Reinsch, 1972 en Pedersen, 1975, 1977) met ten dele afwijkende waarden ten opzichte van de eigen uitkomsten.

Om de waarde van de normaalwaarden te kunnen beoordelen zal eerst van quo-

tiëntdefinities uit de literatuur worden nagegaan of zij in de elektroglottogram-definities te vertalen zijn om daarna de grootte van het quotiënt te vergelijken met de zelf gevonden uitkomsten.

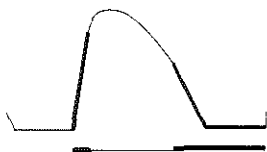
#### 6.2.1 Quotiëntenvergelijking met gegevens uit de literatuur

Reeds eerder (biz. 77) is een aantal auteurs genoemd, die het begrip quotiënt hebben gebruikt. Trendelenburg (1935) lijkt de eerste te zijn geweest die het begrip 'Oeffnungsquotiënt' gebruikte. Het is van belang na te gaan hoe per auteur het quotiënt gedefinieerd wordt. Termen als open quotiënt en openingsquotiënt worden immers vaak door elkaar gebruikt. Damsté (1970) beschreef het openingsquotiënt als 'de duur van het uit elkaar wijken van de stemplooiën, gedeeld door de totale duur van de trillingsperiode' en het open quotiënt als 'de tijd gedurende welke de stemplooiën zich niet tegen elkaar bevinden, gedeeld door de totale duur van de periode'. Uitgaande van deze definitie kan men het openingsquotiënt in elektroglottogramtermen vertalen als  $Oq + \frac{1}{2} \text{Open } q$ , alles wat met openen te maken heeft. Het open quotiënt is dan overeenkomstig onze definitie van Open  $q$ : alles wat met volledig open zijn te maken heeft.

Trendelenburg deed onderzoek bij menselijke larynxpreparaten door middel

Preparaten	Schaduwschrift	Elektroglottografie
frequentie	"Oeffnungsquotient"	1-gesl.q.
276 Hz	0,61	} 0,65 - 0,98
300 Hz	1,00	
Proefpersonen		
persoon		
85 Hz W.T.	0,30	} 0,68 $\pm$ 0,09
90 Hz W.T.	>0,30 <0,70	
100 Hz H.T.	0,52	
100 Hz G.T.	0,60	
115 Hz F.T.	0,66	

Quotiënten Trendelenburg en Lecluse



van zijn schaduwschriftmethode en bij proefpersonen door akoestische analyse van het signaal. Hij gaf als definitie van 'Oeffnungsquotient': 'Die Oeffnungszeit im Verhältnis zur ganzen Periodendauer'. Wordt zijn definitie vertaald in de elektroglottogramtermen dan betekent dit dat

dit 'Oeffnungsquotient' gelijk is aan 1-gesl.q.

Tarnóczy (1951) baseerde zijn quotiëntenberekening op oscillogrammen van het akoestisch signaal na laag-doorlaat-filtering. Zijn definitie luidde: 'The opening-quotient is the ratio of the duration of the opened condition of the glottis to that of the full period'. In termen van het elektroglottogram is dit gelijk aan 1-gesl.q.



Bij een groep mannelijke en vrouwelijke proefpersonen vindt hij een rechtlijnig verband met de frequentie. Bij 100 Hz is het 'opening-quotient' 0,2 en bij 400 Hz 0,7. Neemt men uit zijn gegevens een groep mannen, onderzocht op de frequenties 100 - 300 Hz, dan komt er een rechtlijnig verband tussen quotiënt en frequentie naar

voren; bij 100 Hz 0,3 en bij 300 Hz 0,6. De overeenkomstige waarde uit eigen onderzoek is  $0,68 \pm 0,09$ . Het is de vraag of door uitsluitend filteren van het akoestisch signaal de primaire glottistoon te berekenen is (Miller, 1959).

Smith (1954) verrichtte quotiëntenberekeningen aan high-speed opnamen van Bell Telephone Laboratories (1937).



Hij berekende de 'closure time', die overeenkomt met het gesloten quotiënt uit de elektroglottografie.

Quotiënten Smith en Lecluse:

Proefpers.	Closure time/T Smith		Gesloten q.	Lecluse
	lage freq.	hoge freq.		
A	--	0,33	$0,32 \pm 0,09$	
B	0,4	0,4	$0,32 \pm 0,09$	$0,12 \pm 0,04$
C	0,4	0,4	$0,32 \pm 0,09$	$0,12 \pm 0,04$
D	--	0,5		$0,12 \pm 0,04$

Het is de vraag of de zogenaamde hoge frequenties wel in het falsetregister liggen. Op grond van de gegevens lijken ze nog tot het borstregister te behoren. Dit zou de overeenkomst in quotiënten verklaren.

Timcke (1956, 1957) definieerde door middel van stroboscopie het 'quotient d'ouverture' als volgt: 
$$\frac{\text{Durée d'ouverture de la glotte}}{\text{Durée d'une période complète}}$$

'La durée d'ouverture' is de tijd waarin nog lucht door de glottis stroomt.



Dit komt in de elektroglottografie overeen met 1-gesl.q. Hij onderzocht twee mannelijke proefpersonen. De één was geschoold, de ander niet.

Ongeschoolde proefpersoon:

Frequentie in Hz	Luidheid	'quotient d'ouverture'	1-gesl.quotiënt (n=6)
120	piano	0,63	$0,68 \pm 0,09$
150	"	0,64	$0,68 \pm 0,09$
200	"	0,70	$0,68 \pm 0,09$
300	"	0,68	$0,68 \pm 0,09$
400	piano	0,71	$0,88 \pm 0,04$

De gemiddelde waarde is tot en met 300 Hz 0,66. Deze resultaten komen goed met de eigen gegevens overeen. Mogelijk is de proefpersoon bij 400 Hz nog in het borstregister aan het foneren. Timcke (1956) vindt bij deze proefpersoon een frequentie-invloed op het quotiënt. Het quotiënt neemt bij stijgende frequentie toe.

Geschoolde proefpersoon:

Frequentie in Hz	Luidheid	'quotient d'ouverture'	1-gesl.quotiënt (proefpersoon A.S.)
160	planissimo	0,70	0,67
160	mezzo forte	0,51	0,63
160	forte	0,44	0,57

Er is nu nog een duidelijke luidheidsinvloed. De uitkomsten vallen deels binnen de eigen resultaten. Zoals reeds in hoofdstuk 5 is aangegeven, wordt een luidheidsinvloed bij de proefpersoon A.S. gevonden, doch niet bij de groep van zes. De relatie, die er dan bestaat tussen een toenemende luidheid en een kleiner wordend quotiënt wordt ook door Timcke (1957) beschreven en komt met de eigen gegevens overeen.

Timcke, von Leden en Moore (1958, 1959 en 1960) verrichtten uitgebreid onderzoek met behulp van high-speed-opnamen van de stembandtrillingen en gaven de



volgende definitie van 'open quotient': 'The period of time in which the glottis is open in relation to the duration of the total vibratory cycle'. Deze definitie komt overeen met de elektroglottogramdefinitie 1-gesl.q.

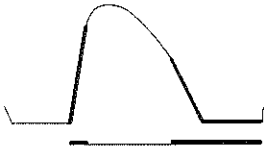
Persoon	'frequentie'	register	luidheid	High speed 'open quo- tiënt'	electroglot- togram 1-gesl. q.
F.	laag	borst	zacht	0,88	} $0,68 \pm 0,09$
M.	laag	borst	zacht	0,69	
F.	midden	borst	zacht/ aangenaam	0,68	
T.	midden	borst	idem	0,64	} $0,68 \pm 0,09$
B.	midden	borst	zacht	0,75	
B.	hoog	borst	zacht/ aangenaam	0,70	
F.	midden	borst	aangenaam	0,75	} $0,68 \pm 0,09$
B.	laag	borst	aangenaam	0,88	
V.	laag	borst	zeer zacht	1,0	
T.	laag	borst	zacht	0,77	
T.	laag	borst	luid	0,55	
T.	midden	kop	zacht	1,0	( $0,88 \pm 0,04$
S.	hoog	kop	luid	0,78	

Quotiënten Timcke, von Leden, Moore en Lecluse

De conclusies van de auteurs zijn:

Op grond van gegevens van mannelijke en vrouwelijke proefpersonen concludeerden zij dat de sexe geen invloed heeft op het gemiddelde quotiënt.

De 'open quotients' zijn afhankelijk van de gekozen luidheid en niet van de gekozen frequentie. Bij toenemende luidheid neemt het 'open quotient' af. Dit werd door Timcke (1957) reeds gevonden. Het 'open quotient' is niet afhankelijk van een open of een gedekte fonatie. Deze conclusies zijn in strijd met de conclusies van dit proefschrift.



In een onderzoek met de fotoglottograaf (FGG) definieert Sonesson (1960) het 'open quotient' als de periode waarin de glottis open is in relatie tot de totale periode. Dit komt overeen met 1-gesl.q.

De volgende gegevens komen voor een vergelijking in aanmerking:

freq. in Hz	fotoglottograaf		elektroglottograaf	
	'Open quotiënt bij zacht foneren		1-gesl.q. n=6	proefpersoon A.S.
	gemid- delde	uitersten der meetpunten		
122	0,57	0,38-0,80	} 0,68 $\pm$ 0,09	0,61 $\pm$ 0,02
173	0,68	0,49-0,77		0,77 $\pm$ 0,04
224	0,71	0,51-1,00		0,73 $\pm$ 0,05
273	0,80	0,47-1,00		0,79 $\pm$ 0,08
325	0,82	0,54-1,00		0,92 $\pm$ 0,01
	open quotiënt bij luid foneren			
122	0,47	0,37-0,58	} 0,68 $\pm$ 0,09	0,56 $\pm$ 0,03
172	0,58	0,38-0,72		0,58 $\pm$ 0,04
222	0,64	0,49-1,00		0,61 $\pm$ 0,04
272	0,70	0,46-1,00		0,66 $\pm$ 0,04
323	0,77	0,44-1,00		0,72 $\pm$ 0,04

Deze gegevens komen goed overeen met die verkregen bij proefpersoon A.S. voor zacht en luid foneren. Mogelijk heeft Sonesson een overeenkomstige proefpersoon gemeten. Boven 222 Hz vond Sonesson nogal eens een niet sluitende glottis ('open quotient' = 1,00). Dit werd door Kitzing en Sonesson (1974) ook bij de vrouwelijke proefpersonen gevonden. Verder gaf dit onderzoek bij de vrouw een 'open quotient' (= 1-gesl.q) van 0,65 bij 220 Hz, hetgeen goed met de eigen mannelijke uitkomsten overeenkomt. Bij een toename van de frequentie werd een toename van het 'open quotient' gevonden, hetgeen eveneens met de eigen bevindingen overeenstemt.

Luchsinger en Pfister bestudeerden in 1954 door middel van de high-speed techniek een vrouwelijke proefpersoon. De hierover in 1958 gegeven uitkomsten, die betrekking hebben op het 'Oeffnungsquotient' betreffen alle hoge frequenties (345 - 651 Hz). Het quotiënt dat overeenkomt met 1-gesl.q. varieert tussen 0,53 en 0,72. Vergelijkt men dit quotiënt met het eigen gemiddelde voor het falsetregister:  $0,88 \pm 0,09$  dan komt de uitkomst niet overeen.

Luchsinger (1953) vond bij een gelijke luidheid een toename van het 'Oeffnungsquotient' bij toenemende frequentie. Bij een geschoolde proefpersoon vond Luchsinger (1965) bij een constante frequentie en een wisselende luidheid geen significant verschil in het 'Oeffnungsquotient' ten gevolge van deze luidheidsverandering.

Reinsch en Gobsch (1972) verrichtten elektroglottografisch onderzoek. Zij gaven de eerste quantitative benadering. Het 'Oeffnungsquotient' werd niet overeenkomstig de eigen indeling gedefinieerd.



'Oeffnungsquotient' is gelijk aan  $1-Sq_t$ . Deze definitie laat géén vergelijking met andere onderzoekers toe, omdat het quotiënt in feite niet juist gedefinieerd wordt.

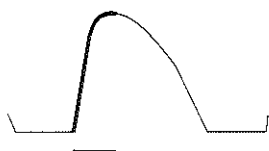
Het frequentiebereik van het borstregister op aangename fonatie:

'Oeffnungsquotient' n = 23 Reinsch	$1-Sq_t$ Lecluse	$Sq_t$ Reinsch	$Sq_t$ Lecluse n = 6
$0,85 \pm 0,08$	$0,81 \pm 0,05$	$0,15 \pm 0,01$	$0,19 \pm 0,05$



Voor 23 proefpersonen vindt Reinsch  $0,85 \pm 10\%$  (0,77-0,93). De eigen uitkomsten zijn  $0,81 \pm 0,05$ . Deze stemmen goed met elkaar overeen.

Pedersen (1974, 1977) berekende met behulp van stroboscopie elektroglottogramquotiënten bij ongeschoolde en geschoolde stemmen. Bruikbaar voor een vergelijkend onderzoek zijn de quotiënten  $Sq_t$  en  $1-(Sq_t + \text{Open } q)$ .



	Pedersen		Lecluse	
	ongeschoold	geschoold	ongeschoold	proefpersoon A.S.
$Sq_t$	$0,11 \pm 0,4$	$0,21 \pm 0,3$	$0,19 \pm 0,05$	$0,24 \pm 0,05$
$1-(Sq_t + \text{Open } q)$	$0,34 (\pm 0,8)$	$0,35 (\pm 0,1)$	$0,48 \pm 0,1$	$0,52 \pm 0,1$

Fourcin (1973) heeft geen quotiënten berekend met behulp van elektroglottografie. Hij maakt melding van één elketroglottogram bij 155 Hz dat via stroboscopisch onderzoek een indeling heeft gekregen die met de eigen gegevens praktisch overeenstemt.

Pedersen (1974, 1977) heeft wel verschillende elektroglottogramquotiënten gegeven doch daaruit is géén overeenkomstige openingsquotiënt te berekenen zoals bij Reinsch en Fourcin.

### 6.2.2 Discussie

Afhankelijk van de gebruikte observatietechniek treden er nogal verschillen op in het zogenaamde openings- of open quotiënt dat meestal met het 1-gesloten quotiënt uit de eigen elketroglottogramdefinitie vergelijkbaar is. Men kan vaststel-

len dat de quotiënten van Trendelenburg, Timcke en Sonesson heel goed passen in de eigen uitkomsten. Vooral Timcke (1956) is praktisch gelijk in zijn bevindingen. Zijn gegevens zijn belangrijk omdat deze door middel van stroboscopie werden bepaald. Aan de eigen elektroglottogramdefinities ligt ook de stroboscopische observatie ten grondslag. Alleen de gegevens van Tarnöczy vallen buiten de vergelijking. De vanuit de elektroglottografie bepaalde quotiënten (Reinsch en Gobsch, 1972; Fourcin, 1973; Pedersen, 1974) geven alleen vergelijkingsmogelijkheden via het maximale sluitingsquotiënt  $Sq_t$ , omdat de andere definities van deze onderzoekers nauwelijks in de eigen definities passen. Neemt men evenwel de invloed van de afsnijfrequentie van het hoog-doorlaat-filter in aanmerking, dan kloppen de waarden voor  $Sq_t$  goed met elkaar. Pedersen (1977) vond geen verschillen tussen de mannelijke en vrouwelijke quotiënten. Dit was voor fotoglottogrammen ook door Kitzing (1974) gevonden. Wat betekenen deze elektroglottogramquotiënten nu voor de fysiologie van de stembandbeweging? In het borstregister is de periode van volledige sluiting ongeveer 1/3 van de totale periodetijd (gesloten  $q = 0,32 \pm 0,09$ ). Kitzing (1974) vond met fotoglottografie dezelfde waarden bij vrouwelijke proefpersonen. In het falsetregister is deze sluiting slechts 1/8 van de totale periodetijd (gesloten  $q = 0,12 \pm 0,04$ ). Het gaan sluiten kost ongeveer 1/10 van de periodetijd ( $0,11 \pm 0,04$ ) en verloopt gelijk in beide registers. Dit is het snelste fenomeen in de vibratie. Het opengaan kost ongeveer 1/4 van de periodetijd ( $0,23 \pm 0,07$ ) en is eveneens gelijk voor beide registers. Sluiten gaat ongeveer 2x zo snel als openen. Het elektroglottogram krijgt daardoor in het borstregister dezelfde vorm als de door de computer berekende opnamen met high-speed (Tanabe) en de inverse filtering (= akoestisch glottogram, Fant). Het open zijn van de stembanden beslaat 1/3 van de totale periodetijd ( $0,33 \pm 0,10$ ) voor het borstregister en de halve periodetijd voor het falsetregister ( $0,54 \pm 0,10$ ). De open periode is sterk frequentie-afhankelijk. Een belangrijke bijdrage van de elektroglottografie ligt dus in een betere registratie van de duur van de verschillende fases binnen de vibratiecyclus. Het gaan sluiten en het open gaan is door andere registratietechnieken nauwelijks te omschrijven omdat het verticale faseverschil niet precies is vast te leggen. Bij fotoglottografie zou dit kunnen, indien de stembanden tijdens sluiting en opening niet doorschijnend waren.

### 6.3 De vorm van het elektroglottogram bij het toepassen van implantaten in larynxpreparaten

#### 6.3.1 Inleiding

Een deel van het onderzoek met larynxpreparaten heeft bestaan in het naboot-

sen van pathologische situaties die aan stembanden kunnen voorkomen, zoals de vorming van stembandknobbels of stembandpoliepen en de imitatie van een stembandstilstand. Vóór en na de aangebrachte verandering werden elektroglottogrammen opgenomen. Tot een duidelijk en systematisch overzicht heeft dit onderzoek niet geleid wegens een aantal hindernissen, die niet zonder meer te overwinnen waren. Toch ontstond er een idee over de opbouw van een elektroglottogram vanuit de verschillende proefsituaties. De interesse ging uit naar schijf- of bolvormige voorwerpjes (adnexen), die aan de stembanden konden worden gehecht. Evenwel bleek de luchtstroom door de stemspleet in de opstelling met het preparaat dermate krachtig te zijn dat alles van het oppervlak werd geblazen tenzij goed vastgelijmd. Lijmsoorten bevatten echter isolerende materialen, die de voortgang van het hoogfrequente signaal konden wijzigen. Synthetische produkten werden daarom buiten beschouwing gelaten. In het stembandoppervlak gestoken knopspelden bleken de stembandbeweging te remmen en vielen ook af. Werden vloeibare materialen direct onder het epitheel of in de musculus vocalis gespoten, dan had dit een niet te overzien effect. Men kan zich het beste een kleine bom-explosie voor ogen houden, omdat het materiaal via weefselspleten in allerlei richtingen geperst werd. Naar aanleiding van het in de kliniek gangbare materiaal <sup>R</sup>/polytef, ook wel teflonpasta genoemd (Arnold, 1962), deed Hirano (1975) een onderzoek met <sup>R</sup>/moljodoI, een contrastmiddel dat kan worden ingespoten in de m. vocalis. Het materiaal bleek zich afhankelijk van de uitstroomopening van de naald in verschillende richtingen verschillend te expanderen. Ook Bouche en Frèche (1973) hadden reeds problemen gehad bij het goed doseren van kleine hoeveelheden polytef. De viscositeit van het materiaal eiste een pistoolspuit, die een nauwkeurige dosering bemoeilijkte. Wij ondervonden dezelfde problemen, zodat van een kwantificering weinig terecht kwam. Wel is deze techniek te gebruiken om een stembandstilstand na te bootsen. Uiteindelijk viel de keuze op implantaten in de ruimte van Reinke (zie blz. 8).

### 6.3.2 Methode

De ruimte van Reinke werd zo mogelijk geopend om de mucosa aan de contactvlakzijde aaneengesloten te houden. De valse stembanden waren al verwijderd. Met een paracentesenaald werd een kleine lengte-incisie gemaakt. Het gebruik van de operatiemicroscoop zorgde voor een grotere nauwkeurigheid. Bolletjes en schijfjes van verschillende materialen werden opgeschoven naar de mediaanlijn.

Het geïmplanteerde materiaal bestond uit:

- gelatine 20 %, in een 0,5 zoutoplossing, met een smeltpunt van ongeveer 33° C,

- geleidende siliconrubberpartikels,
- metalen kogeltjes van verschillende diameter,
- uitgestanst kraakbeen van de alae van het thyreoidkraakbeen.

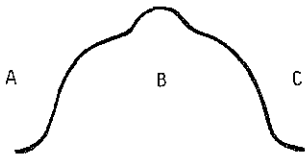
### 6.3.3 Resultaten en discussie

Het is niet mogelijk een gekwantificeerd overzicht te geven waarin de keuze van het materiaal, de invloed van de bolletjesgrootte, de plaats van implantatie in relatie tot het glottogram naar voren komen. Dit is het gevolg van de kwetsbaarheid van de ruimte van Reinke, waardoor veel preparaten verloren gingen. Daarbij stootte men op de linea arcuata inferior, die de conus elasticus van de stemplooi afgrenst. Hierdoor was het nimmer mogelijk een bolletje subepitheliaal aan de onderzijde van het contactvlak te plaatsen. Het dunne bekleedende epitheel kan snel scheuren, waardoor het gehele preparaat onbruikbaar wordt. Ventraal en dorsaal is een bolletje niet ver door te schuiven in de richting van de voorste commissuur en de processus vocalis, omdat de ruimte van Reinke tuitvormig naar beide zijden toeloopt (zie ook Kresa e.a., 1973). Onder invloed van de luchtstroom en de stembandvibratie werden de voorwerpjes naar buiten gedreven waardoor telkens andere posities ontstonden. Derhalve wordt een verslag gegeven van verschillende bevindingen. Zo blijkt de keuze van het materiaal wel enige verschillen in het signaal te geven. De metalen kogeltjes geven grote veranderingen in het elektoglottogram, terwijl geleidend siliconrubber minder veranderingen veroorzaakt. Beide materialen zijn echter lichaamsvreemd, zodat uiteindelijk voor uitgestanst kraakbeen werd gekozen.

De grootte van het vreemde voorwerpje is op een andere wijze voor het elektoglottogram bepalend. Bolletjes van kraakbeen of geleidend silicon en gelatine met 1 mm doorsnede bleken de stembandvibratie niet duidelijk te beïnvloeden bij inspectie onder stroboscopisch licht. Wordt het voorwerpje echter groter dan gaat de betrokken stemband 'stroboscopisch stilstaan' doordat de trilling zich onttrekt aan de frequentie van de stroboscoopflits. Is nu de stilstand massaal, zoals dat plaatsvindt na een tefloninjectie in de ruimte van Reinke of in de spier, dan kan het elektoglottogram normaal zijn wanneer de niet ingespoten stemband nog een normale vibratie doormaakt. Bezielt men de voortlopende golfcomplexen, dan komt men wel irregulariteiten tegen in het frequentiepatroon.

De plaats van de inplanting heeft weer een andere invloed op het elektoglottogram. Wordt een bolletje van 1 mm doorsnede naar de voorste commissuur opgeschoven, dan maakt het op enige afstand van de commissuur slechts tijdens een

bepaald gedeelte van de sluitingsfase van de vibratie met de andere zijde contact. Wordt het echter ver naar voren opgeschoven dan is er tijdens de hele cyclus met de andere zijde contact. Is er nu slechts een trilling waar te nemen in het dorsaal van het knobbeltje gelegen stembandgebied, dan kan het elektroglottogram normaal zijn. De amplitude blijkt echter verkleind te zijn. Bij een enkelzijdig bolletje ziet men onregelmatige cycli tussen regelmatige. Bij dubbelzijdige bolletjes, die een contact met elkaar maken ziet men soms een normaal patroon ook over meerdere cycli, doch met een kleinere amplitude. Is de situatie bij grotere bolletjes echter zo dat zowel ventraal als dorsaal van het bolletje stembandtrillingen optreden, dan ziet men aan de flanken van het elektroglottogram uitbochtungen verschijnen. Maakt alleen het bolletje contact en vibreren de stembanden zonder elkaar verder te raken dan ziet men schematisch het volgende elektroglottogram.

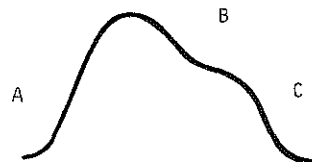
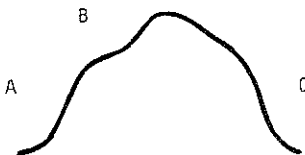


De stijg- en daalflank (A en C) worden beneden de uitbochtung (B) gevormd door activiteiten van de voorste en achterste commissuur, die slechts een klein deel van het totale contactvlak uitmaken. De amplitude van een dergelijk elektroglottogram is ook kleiner. Wordt nu het knobbel-

tje in het contact betrokken dan ontstaat de smalle top, die precies correspondeert met contactperiode van het knobbeltje. Wordt onder invloed van de instelkrachten juist geen contact op de plaats van het bolletje verkregen, dan ziet men het volgende elektroglottogram:



Dit geeft louter activiteiten weer van de voorste en achterste commissuur. Dit is het elektroglottogram, dat men ook bij bepaalde stembandhypokinesieën in de kliniek ontmoet. Is er een goed stembandcontact met inbegrip van een contactmakend en -verbrekend knobbeltje, dan ziet het elektroglottogram er vaak als volgt uit:



Men kan een knik op de stijgflank, doch ook op de daalflank, waarnemen. Dit is echter afhankelijk van de hoogte waarop het bolletje zich in het contactvlak bevindt. Is het eerste contact het bolletje, door een caudale localisatie in het contactgebied, dan bevindt het knikje in het elektroglottogram zich meestal op de stijgflank, omdat bij het maken van het contactvlak het bolletje de eerste impedantieverandering geeft. Bij de voortgaande afwikkeling van het contactvlak is dit gebiedje weer betrekkelijk snel uitgeschakeld waardoor er een kleine impedantietoename in de vorm van het knikje naar beneden optreedt. Is het bolletje evenwel aan de bovenzijde van het contactvlak gelocaliseerd, dan zal het zich vrij laat losmaken en zal er op de openingsflank een onregelmatigheid te zien zijn, die de impedantieverandering aangeeft.

Duidelijk was bij een bepaalde proef met siliconrubber een verplaatsing van de knik tegen de wijzers van de klok in te verkrijgen wanneer het voorwerpje in de ruimte van Reinke van craniaal naar caudaal werd verplaatst, zodat het van de daalflank naar de basis van de stijgflank verschoof. Om dit evenwel goed te kunnen waarnemen is de plaatsing van de elektrode belangrijk. Heeft men door de plaatsing van het bolletje twee trillende stembandgebieden ventraal en dorsaal daarvan, dan kan het effect van de knik verdwijnen door de elektroden extreem bij één trillend gebied te plaatsen. Is de knik vrij geprononceerd dan is er door een soort signaal/ruisverhoudingsverschil met de elektrodeplaatsing één flankgedeelte te bevoordelen. Dit is altijd het flankgedeelte, dat bepaald wordt door het trillend gebied het dichtst bij de elektroden. Verschuift men de elektroden, dan zakt het geprononceerde flankgebied in en komt het daaropvolgende gedeelte sterker naar voren. Hieruit volgt dat in een dergelijke situatie het elektroglottogram wordt samengesteld door een optelling van de twee trillende gebieden vóór en achter het knobbeltje. De expressie van de flanken ten opzichte van de knik is afhankelijk van de elektrodeplaatsing. Dit wordt pas duidelijk wanneer gebieden voor en achter een knobbeltje met elkaar in fase verschillen tijdens de vibratie. Men ziet dan elektroglottogrammen met configuraties zoals zojuist beschreven, doch ook onregelmatige golfcomplexen, doordat de summatie niet zo nauwkeurig verloopt omdat alles in een elektroglottogramvorm wordt opgeteld. Men krijgt dan als het ware een aaneenschakeling van allemaal kleine elektroglottogrammetjes zonder een onderlinge regelmaat. Om door middel van elektroglottogrammen implantaten te kunnen onderscheiden, moet de impedantie-overgang groot genoeg zijn. Zo zal een vast en omschreven partikel eerst een klein elektroglottogram opbouwen om dan bij het moment van uit het contactvlak loslaten een knik te vormen, die weer verdwijnt wanneer het overige stembandweefsel aan de trilling meedoet. Zit het knobbeltje aan de bovenzijde en verlengt het

de sluitingsperiode, dan moet de overgang van wel contact en geen contact voldoende groot zijn om een markante knik te kunnen geven. Dit was ook het geval bij het onderscheid van punt IV in het normale elektroglottogram. Is dit niet het geval, dan is de impedantie-overgang te vloeiend en wordt zij niet opgemerkt. Is anderzijds de knobbel groot, door bijvoorbeeld een telfoninspuiting met een stembandstilstand onder stroboscopisch licht aan die zijde, dan wordt wel een ongeveer normaal elektroglottogram gezien, doch dit elektroglottogram is te breed omdat het contact te laat wordt verbroken. Punt IV is hier vaak zeer markant vanwege deze plotselinge contactverbreking. Door het plumpe contactvlak aan de opgespoten zijde is de overgang van gesloten zijn naar open gaan vrij groot. Een dergelijk beeld ziet men bij de stembandverlamming, die eenzijdig is en bij de chronische laryngitis, die tweezijdig plumpe stembanden heeft.

Resumerend kan gesteld worden dat een elektroglottogram opgebouwd gedacht kan worden uit een sommatie van talloze contactvlakjes met een dienovereenkomstige impedantie-afname, en dit levert bij een regelmatig trillingsverloop een normaal elektroglottogram op. Ontstaan er echter onregelmatigheden in het contactvlak dan verloopt de sommatie onregelmatig. Dit is kenbaar aan een knik, die ontstaat door het toenemen van de impedantie ten gevolge van een afname van een reeds opgebouwd contactvlakje, bij voorbeeld een knobbeltje. De sommatie kan ook bestaan uit twee elektroglottogrammen ten gevolge van ventraal en dorsaal van het knobbeltje trillende stembanden. Dit kan een sommatie zijn van twee trillende stembandgedeelten, die met elkaar in of uit fase zijn. Men herkent dit aan het onregelmatige patroon in de continue registratie en aan het feit dat de elektrodeplaatsing van invloed is. Hoe meer caudaal de afwijking is gelocaliseerd, hoe meer de knik op de stijflank zich aftekent. Het omgekeerde geldt voor de afwijking aan het craniale gedeelte van het contactvlak, waardoor het contact juist laat wordt verbroken met een knik op de daalflank. Het ontstaan van een regelmatig pathologisch elektroglottogram of van een reeks onregelmatige pathologische golfcomplexen hangt af van het verloop van de contactvlakopbouw. Dit is weer afhankelijk van de stijfheid van de bekleding en de daaronder liggende m. vocalis (fig. 4) een situatie, die afhankelijk van nieuwvormingen of verlammingen, telkens anders is. De niet voltooide elektroglottogrammen zijn in amplitude altijd kleiner dan de goed gesummeerde typen. Zijn er complexen van kleine golven dan is er meestal een forse stoornis in het trillingspatroon. Zijn er slechts kleine knikjes, dan zijn de afwijkingen meestal ook klein.

## 6.4 Een elektrisch model

### 6.4.1 Inleiding

Om de elektrische activiteiten binnen de larynx beter te kunnen begrijpen, wordt aan de hand van de veronderstelling, dat het elektrische veld binnen de larynx een vorm heeft volgens fig. 75, een model opgesteld.

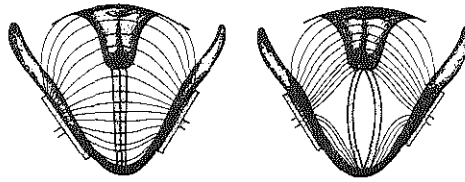


Fig. 75

Schematische voorstelling van het verloop van de stroomlijnen door de larynx. (verklaring zie tekst).

Fig. 75 laat twee extreme situaties van de vibratiecyclus zien. In de linker helft is de glottis volledig gesloten voorgesteld en lopen de stroomlijnen door de stembanden heen. In de rechter helft is de glottis volledig geopend voorgesteld en is er wederzijds van de stembanden een driehoekige niet-gearceerde wig getekend, die niet onder invloed staat van het elektrisch veld. De situatie in de laatste figuur wordt de 'open impedantie' genoemd. Wanneer de hier getekende voorstelling overgebracht wordt in een elektrisch model van weerstanden en capaciteiten, kan een elektrisch schema zoals in fig. 76A worden opgesteld. Het complex  $R_e$  en  $C_e$ , aan de binnenzijde van de elektroden, is de voorstelling van de elektrode-huidovergang.  $R_t$  en  $C_t$  vertegenwoordigen de impedantie van het weefsel tussen de huid en het stembandoppervlak ( $t$ =tissue).  $R_v$  en  $C_v$  vormen samen de contactimpedantie tussen de twee stembandoppervlakken ( $v$ =vocal cords).  $R_s$  en  $C_s$  geven de impedantie langs de voor- en achterzijde van de stembanden weer ( $s$ =subcutis).



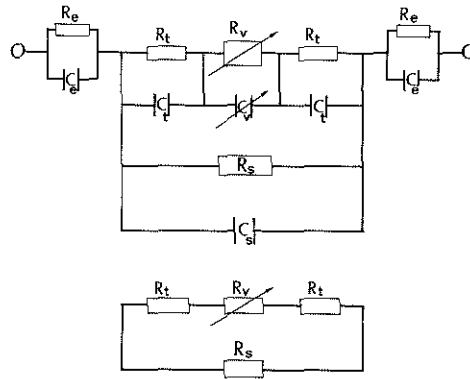


Fig. 76

A. Het elektrisch model van de larynx in een uitgebreide vorm. Parallel circuit.

O = elektrode

$C_e + R_e$  = elektrode impedantie

$C_s + R_s$  = subcutis impedantie

$C_t + R_t$  = weefsel impedantie (t = tissue)

$C_v + R_v$  = variabele glottisimpedantie

(v=vocal folds)

B. Het vereenvoudigde model met parallelle weerstanden.

$R_s$  = subcutis weerstand

$R_t$  = weefselweerstand tussen elektrode en stembanden

$R_v$  = variabele glottisweerstand

#### 6.4.2 Berekeningen aan het model

In een proefopstelling met een vectorimpedantiemeter met de elektroglottograafelektroden op de hals, waarbij van elektrodenpasta gebruikt wordt gemaakt, blijkt, dat bij toenemende oscillatorfrequentie de impedantie over de hals van de proefpersoon afneemt en dat de fasehoek naar nul gaat. In het model in fig. 76A betekent dit dat er voornamelijk sprake is van een serieschakeling

tussen een capaciteit en een weerstand. Bij open glottis betreft het de serie-schakeling tussen  $C_e$  en  $R_s$  omdat we mogen aannemen dat de capaciteit tussen de elektroden en het halsweefsel groot is ten opzichte van de capaciteit van het halsweefsel zelf, terwijl  $R_v$  zeer groot is. De capaciteiten  $C_t$  en  $C_s$  zijn klein ten opzichte van  $R_t$  en  $R_s$  en kunnen verwaarloosd worden. Aangezien de fase van het complex  $C_e$  en  $R_s$  klein is, zullen we bij een meetfrequentie van 300 kHz of hoger de capaciteit  $C_e$  eveneens verwaarloosd worden. De glottiscapaciteit  $C_v$  wordt kort-gesloten bij de stembandsluiting. Vlak vóór de sluiting van de stembanden is deze capaciteit maximaal. Dit zou inhouden dat, mocht deze capaciteit van enige betekenis zijn, het elektroglottogram vóór zou moeten lopen op het stroboscopisch beeld. Dit fenomeen hebben wij echter bij onze larynxproeven nooit kunnen constateren. Zodoende kan  $C_v$  eveneens verwaarloosd worden. Door deze reductie komt men op fig. 76B uit, een model dat alleen uitgaat van parallelle, zuiver ohmse weerstanden. Het model voldoet aan de volgende formule uit de elektriciteitsleer:

$$\frac{1}{R_{\text{larynx}}} = \frac{1}{2R_t + R_v} + \frac{1}{R_s} \quad (1)$$

We kunnen nu  $R_s$  bepalen door bij geopende stembanden door middel van een decade-bank in die brugstelling van de elektroglottograaf, die gevonden wordt bij preparaat of proefpersoon, de zogenaamde 'open impedantie' te meten.  $R_{\text{larynx}}$  is dan gelijk aan  $R_s$ .

$R_s$  is voor het preparaat 130 Ohm en voor de proefpersoon 30 Ohm.  $R_s$  is bij de proefpersoon kleiner dan bij het preparaat. Dit komt voort uit het feit dat er bij de proefpersoon een veel dikkere subcutislaag aanwezig is, waarvan de weerstand omgekeerd evenredig is met de doorsnede. Het praktisch naakte preparaat heeft minder weefsel waarlangs een parallelle stroomweg mogelijk is, zodat de weerstand hiervan hoger is. Tevens is bij een open glottis de weerstand  $R_v$  oneindig groot en bij een gesloten glottis nul. De stembanden werken dus als een schakelaar. Nu is het bekend dat de impedantie bij stembandsluiting met 10 % daalt bij het preparaat en met 1 % bij de proefpersoon tot respectievelijk 117 Ohm en 29,7 Ohm (de 'gesloten impedantie'). Wanneer men deze gegevens invult in (1) komt men tot het resultaat:

$$2R_t = 1170 \text{ Ohm voor het preparaat en} \\ 2970 \text{ Ohm voor de proefpersoon.}$$

Hoe moet men zich deze  $2R_t$  voorstellen? Dit is in feite de ohmse weerstand van de twee driehoekige weefselwigen uit figuur 75.

Schematiseert men deze wiggen (fig. 77), dan is  $2R_t$  de weerstand van de twee driehoekige volumes.

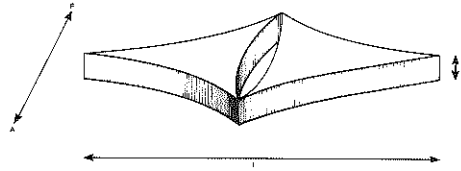


Fig. 77

Schematische voorstelling van de wig van weefsel, die beurtelings wel en niet in de stroomkring wordt betrokken bij de sluiting en de opening van de stemspleet.

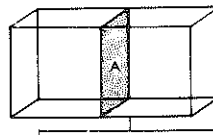
A-P = voor-achterwaartse richting

d = dikte van de wig

l = de totale lengte van de twee wiggen

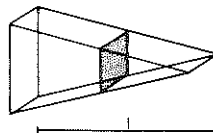
De weerstand daarvan kan als volgt berekend worden:

Voor een rechthoekig volume geldt:



$$R = \frac{l \cdot \rho}{A}^*$$

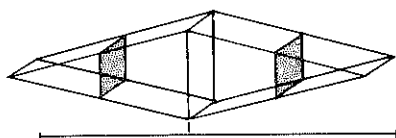
Voor een driehoekig volume geldt:



$$R = \frac{l \cdot \rho}{\frac{1}{2} A} \rightarrow l = \frac{A \cdot R}{2 \rho}^*$$

\*  
R = weerstand      l = lengte van het blokje  
A = doorsnede      ρ = soortelijke weerstand

Voor twee driehoekige volumes geldt:



$$1 = \frac{A \cdot R}{2 \rho} \rightarrow R = \frac{2 \rho}{A} \rightarrow 1 = \frac{A \cdot 2 R_t}{2 \rho} \quad (2)$$

Het stembandoppervlak A, dat meedoet in de vibratie als contactvlak is bij maximale sluiting (op punt III in het elektroglottogram)  $35 \text{ mm}^2$ . Dit is ontleend aan Hirano (1975) volgens stembandlengte (15 mm) x stembanddikte (2,3 mm) (fig. 3). De gemiddelde soortelijke weerstand  $\delta = 400 \text{ Ohm cm}$  (ontleend aan Nyboer, 1970). Dit ingevuld in (2) geeft de gemiddelde lengte van de twee weefselwigen: 0,5 cm bij het preparaat en 1,3 cm bij de proefpersoon.

Deze waarden komen niet overeen met de gemiddelde elektrode-afstand bij het preparaat en bij de proefpersoon, doch met een afstand die ruim binnen de elektroden ligt. De wigen sluiten dus niet direct op de elektroden aan, doch beginnen op een dieper niveau.

De volgende berekening gaat in op de mogelijkheid om na te gaan of de vorm van het elektroglottogram een evenredigheid toont met het stembandoppervlak dat in de vibratiecyclus is betrokken.

Volgens (1) is:

$$\frac{1}{R_{\text{larynx}}} = \frac{1}{2R_t + R_v} + \frac{1}{R_s}$$

Tevens geldt:  $R_{\text{larynx}} = R_s - kR_s = R_s(1-k)$ ,

waarin k de relatieve impedantie-afname is ten gevolge van de glottisafsluiting.

Dus: 
$$\frac{1}{R_s(1-k)} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{2R_t + R_v}$$

$$\frac{1}{2R_t + R_v} = \frac{1}{R_s(1-k)} - \frac{1}{R_s} = \frac{1}{R_s(1-k)} - \frac{1-k}{R_s(1-k)} = \frac{1-(1-k)}{R_s(1-k)} = \frac{1}{R_s} \cdot \frac{k}{1-k}$$

Nu is  $k \ll 1$  ( $k \approx 0,01$  bij de proefpersoon) en  $R_v = 0$ .

$$\text{Dus: } \frac{1}{2R_t} \approx \frac{k}{R_s}$$

Het stembandoppervlak kan volgens (2) beschreven worden als:

$$A = \frac{1.2\rho}{2R_t} = \frac{2k}{R_s} \cdot 1\rho = k \cdot \frac{2\rho \cdot 1}{R_s} \quad (3)$$

Algemeen kan vanuit (3) gesteld worden, dat de hoogte van het elektroglottogram ( $k$ ) evenredig is met het stembandoppervlak ( $A$ ). Dit oppervlak is maximaal  $15 \times 2,3 = 35 \text{ mm}^2$  (Hirano, 1975, fig. 3). Neemt men nu de relatieve waarde uit tabel II (blz. ), dan is  $k = A_{rel_s} = 0,88$  op punt II. Deze 12% afname in de hoogte betekent voor het oppervlak een afname van  $35 \text{ mm}^2$  naar  $30,8 \text{ mm}^2$ . Op punt IV (punt van opengaan) is  $k = A_{rel_o} = 0,67$ . Dit betekent dat het oppervlak op punt IV gemiddeld  $23,5 \text{ mm}^2$  bedraagt. Het oppervlak bij de sluiting van de stembanden over de volledige lengte is dus anders dan het oppervlak bij de eerste opening na de volledige sluiting. Het verschil is gemiddeld 20 %. Voor de gesloten fase (tussen II en IV) geldt ook dat de hoogte van het elektroglottogram evenredig is met de stembanddikte. De lengte verandert immers niet. Op de top van het elektroglottogram, waar de stembanden volledig gesloten zijn, is deze dikte gemiddeld 2,3 mm. Derhalve is de gemiddelde dikte bij sluiten:

- Relatieve sluitingsamplitude  $\times 2,3 \approx 2,0 \pm 0,16 \text{ mm}$ .

De gemiddelde dikte bij openen is:

- Relatieve openingsamplitude  $\times 2,3 \approx 1,5 \pm 0,32 \text{ mm}$ .

Resumerend:	Oppervlak A	Dikte d
Op punt II	$30,8 \text{ mm}^2$	$2,0 \pm 0,16 \text{ mm}$
Op punt IV	$23,5 \text{ mm}^2$	$1,5 \pm 0,32 \text{ mm}$
Op punt III	$35 \text{ mm}^2$	2,3 (als bekende parameters)

Alle tussenliggende waarden kunnen uit het glottogram berekend worden.

#### 6.4.3 Conclusie

Als conclusie van het hierboven beschreven model kan gezegd worden dat het elektroglottogram beschreven kan worden met zuivere weerstanden zonder dat speciaal gebruik gemaakt behoeft te worden van capaciteiten, zoals gedaan door Fabre (1957) en Duvelleroy (1961). Hieruit kan de conclusie worden getrokken dat

de amplitude van het elektroglottogram evenredig is met het stembandoppervlak. Doordat over een bepaald gebied (tussen punt II en IV) de glottis gesloten is, is het elektroglottogram in dat gebied evenredig met de stembanddikte. Zetten we deze gedachtengang voort, dan zien we dat op punt II in de trillingscyclus, wanneer pas 11 % van de vibratiebeweging doorlopen is, reeds 88 % van het stembandoppervlak in het contact is betrokken. De snelle opbouw van het contactvlak blijkt ook uit high-speed opnamen van een sagittaal gehalveerde larynx, die tegen een glasplaat trilt (Hiroto, 1968) en uit een animatiefilm van de stembandbeweging (Hirano, 1977). Het is niet onmogelijk dat de vloeistoffilm op de stembanden een adhaesief effect geeft dat het muceuze oppervlak bij de botsing en bij de opening nog eens vergroot. De quotiënten zijn dus in verband te brengen met het stembandoppervlak, of zoals vaak genoemd wordt het stembandcontactvlak. Dit geldt met name voor de relatieve sluitingsamplitude, de relatieve openingsamplitude en het relatieve oppervlak.

## 6.5 Registers

In het eigen onderzoek met mannelijke proefpersonen worden twee registers gevonden, welke op de vorm van het elektroglottogram zijn te onderscheiden. De registerovergang is tussen 250 Hz en 400 Hz gelegen. Alleen bij proefpersoon A.S. is een afhankelijk van de luidheid bij de plaats van de registerovergang vast te stellen. Hoe past deze bevinding in de gegevens van andere auteurs?

Over het aantal registers, dat bij de stemgeving betrokken is, lopen de schattingen uiteen van één tot zeven (Hollien, 1974). Let men bij de omschrijving van de term register echter speciaal op aspecten, die op de larynx betrekking hebben, dan is het aantal kleiner (van den Berg, 1968, Hirano e.a., 1970, 1974, Hollien, 1974; blz. 23 en 24 van dit proefschrift). In het onderzochte frequentiegebied van 80 Hz tot 550 Hz is dit aantal registers twee tot drie.

Van den Berg geeft feitelijk twee registers: het borstregister (75-300 Hz) en het falsetregister (150-600 Hz), die elkaar echter overlappen in een middengebied, het middenregister. De hoogst bereikbare tonen van het borstregister liggen bij 300 Hz en worden bepaald door de koppeling met de subglottische resonantie-ruimten (1.3.3). De laagst bereikbare waarde is in het falsetregister 150 Hz en is waarschijnlijk in verband te brengen met resonantieproblemen rond de subharmonische van de subglottische resonantie van 300 Hz.

Hollien kan op grond van perceptieve, akoestische, fysiologische en aërodynamische parameters twee registers beschrijven in het in dit proefschrift onderzochte frequentiegebied: het modale register (75-500 Hz) en het 'loft'-register (150-750 Hz). Hij neemt bij één proefpersoon geen overlapping waar.

De registeromslag kan snel plaatsvinden. In een eigen waarneming (blz. 117) veranderde de vorm van het elektroglottogram binnen 20 cycli tijdens een dalend glissando. Het frequentiegebied, waarbinnen de registersprong plaatsvond bleek ongeveer 30 Hz te zijn. Kitzing (1975) nam zelfs een registersprong binnen twee cycli waar, terwijl de frequentie veranderde van 240 Hz naar 170 Hz.

Het vinden van twee registers bij de ongetrainde proefpersoon bevestigt de veronderstellingen van bovengenoemde auteurs. Mijns inziens biedt de elektroglottografie mogelijkheden om op vrij eenvoudige wijze registers en registerovergangen te onderscheiden. Dit is van betekenis bij het onderzoek van zangleerlingen, conservatoriumstudenten en beroepsmensen. Hier kan een onderzoek naar ingesteld worden. De door mij onderzochte groep liet nog geen harde uitspraken toe. In deze richting is echter wel werk verricht door Pedersen (1975). Zij vond significante verschillen tussen groepen getrainde en ongetrainde proefpersonen bij een quotiëntenberekening doch de wijze van groeperen van het cijfermateriaal ontnam haar een uitspraak over de plaats van de registersprong.

De plaats van de registersprong komt bijzonder mooi overeen met de onderzoekresultaten van van den Berg en is een bevestiging voor zijn registertheorie. Nergens vond ik een duidelijker aanwijzing dan nu met de elektroglottografie gegeven kan worden. Welke betekenis aan de snelheid om van het ene register naar het andere over te gaan gehecht moet worden is niet te zeggen. Dit kan een onderzoek waard zijn, omdat hieruit mogelijk de reactiesnelheid van het reflexsysteem binnen de larynx bepaald kan worden.

## 6.6 Klinische toepassing

In de vraagstelling van dit proefschrift is de klinische elektroglottografie niet genoemd omdat vele jaren experimenteel klinisch werk relatief weinig hadden opgeleverd bij het vinden van een afdoende verklaring van het elektroglottogram. Aan de slotbeschouwingen kan evenwel een kanttekening over de klinische toepasbaarheid niet onthouden worden.

Van de berekende quotiënten lijkt het gesloten quotiënt voor de kliniek belangrijk te kunnen zijn. Er is een vrij nauwkeurige meting mogelijk, ook indien de berekening zonder computer moet geschieden. Dit quotiënt kan voorstellingen geven over hypokinetische en hyperkinetische storingen in de stembandbeweging en laat beoordeling van het therapeutisch resultaat toe.

Kleine nieuwvormingen, welke op het contactvlak van de stembanden gelocaliseerd zijn, zijn in staat het gesloten quotiënt te doen toenemen (zie ook Boberg, 1975, 1977). Wanneer microchirurgie wordt toegepast kan een controle van het resultaat door middel van elektroglottografie plaats hebben. Een berekening van het gesloten quotiënt kan dan geschieden. Ook bestraalde tumoren kunnen elektroglottografisch worden vervolgd. De daar gewijzigde bevochtiging van de larynx heeft naar alle waarschijnlijkheid invloed op het quotiënt. Deze uitspraken vereisen een gefundeerd wetenschappelijk onderzoek. De veronderstellingen zijn gebaseerd op vele experimenten met geëxideerde larynxen, welke proefjes ook nog tot andere uitspraken aanleiding geven. Gaat men uit van contactvlakverstoringen, dan ontstaan in de elektroglottogrammen van de preparaten uitbochtungen aan de stijg- of daalflank van het elektroglottogram. Deze verstoringen werden reeds door Strigioni (1963) opgemerkt bij proefpersonen en door haar 'accidents' genoemd. Zij werden echter niet met het contactvlak in verband gebracht. Deze verstoringen beschreef Loebell (1968) bij een carcinoma in situ, dat nog niet op het oog was gediagnostiseerd. Het is aannemelijk dat een goed opgezet onderzoek, mogelijk in de vorm van een screenend onderzoek bij rokers, deze uitbochtungen te zien zal geven in een vroeg stadium van opkomende afwijkingen aan het contactvlak. Grotere afwijkingen aan de mucosa of het daaronder gelegen gebied zullen naar alle waarschijnlijkheid het trillingspatroon gaan verstoren. Hierdoor valt in de opeenvolgende golf-complexen een onregelmatigheid op, welke men kan beschrijven als een 'pulsus irregularis et inaequalis'. Een praktisch aspect hiervan is de telkens wisselende grondfrequentie. Schommelingen die buiten de spreiding vallen (5.9) zijn een aanwijzing voor larynxpathologie (Neil e.a., 1977). Een nauwkeurige berekening vereist verwerking van het cijfermateriaal met een computer. Naar ik hoop kan de elektroglottografie met haar nauwkeurige quotiëntenberekening meewerken aan een betere diagnostiek van de functionele stemstoornissen in de logopedische centra of praktijken. Zij zijn het, die door een gemis aan organisch (zichtbaar) substraat, de practicus voor grote problemen plaatsen. De elektroglottografie kan dan naast een betere toepasbaarheid ook op meer plaatsen gebruikt gaan worden.



## Samenvatting

In dit proefschrift wordt een experimenteel onderzoek beschreven met de elektroglossograaf (Fabre, 1957), een apparaat dat de elektrische impedantie van de stembanden kan meten, welke slechts een klein deel van de totale impedantie van de hals uitmaakt. In de literatuur is men met de verklaring voor de golfvorm van het elektroglossogram, de impedantievariatie die veroorzaakt wordt door de trillingen van de stembanden, niet verder gekomen dan een definitie voor het open en gesloten zijn van de stemspleet, met schaarse aanwijzingen voor het allereerste moment van sluiten. Een lacune bleef bestaan in de beschrijving van andere markante punten en daarmee in de quotiëntberekening. De maximale sluiting wordt door Lecluse e.a. (1975) gedefinieerd als de top na de steile helling en de opening als het gedeelte na de minst steile helling. Wegens problemen met de apparatuur werd een vergelijkend onderzoek met verschillende elektroglossogrammen verricht. Daarbij kwamen verschillen naar voren tussen apparaten die alleen werken als bewegingsdetectors van de halstrillingen en apparaten die inderdaad het stembandsignaal weergeven. Belangrijk is de keuze van een apparaat met een hoogfrequente draaggolf ( $> 100$  kHz) en een lage afsnijfrequentie van het hoog-doorlaat-filter. De afsnijfrequentie van het hoog-doorlaat-filter mag maximaal 2,5 Hz zijn. Hiermede is op mannelijke larynxpreparaten gemeten, die gebruikt worden vanwege de lengte van de stembanden en hun gemakkelijke fonatie-eigenschappen. Er blijkt een elektroglossogram te ontstaan dat overeenkomt met de levende proefpersoon. Er worden twee karakteristieke basisvormen gevonden: een breed elektroglossogram, dat vooral voorkomt in het lage frequentiegebied (onder 150 Hz) en een smal, bijna symmetrisch elektroglossogram, dat hoofdzakelijk voorkomt in het frequentiegebied boven 150 Hz. Deze elektroglossogrammen zijn karakteristiek voor het borst- respectievelijk falsetregister. Door vergelijkend onderzoek met behulp van stroboscopie, waren specifieke tijdstippen in het elektroglossogram te vinden, (fig. 34). Tijdstip:

- I is de allereerste sluiting op één punt
- II is de sluiting over de volle lengte doch niet in het verticale vlak
- III is de sluiting over het gehele verticale vlak
- IV is het eerste moment van opengaan
- V is het eerste moment van open zijn over de volle lengte.

De trajecten tussen de tijdstippen zijn als volgt te beschrijven:

- I - II is het gebied waarover de sluiting over de volle lengte plaatsvindt
- II - III is het gebied waarover de sluiting tevens over de volle diepte van de glottis plaatsvindt
- III - IV is het gebied waarover deze volledige sluiting afneemt in verticale zin
- IV - V is het gebied waarin het opengaan over de lengte van de glottis plaatsvindt
- V - I is de periode van open zijn.

De bijbehorende quotiënten (traject/periodetijd) zijn (fig. 34, blz. 78):

- I - II sluitingsquotiënt ( $Sq$ )
- I - III maximale sluitingsquotiënt ( $Sq_t$ )
- II - IV gesloten quotiënt (Gesl. q)
- IV - V openingsquotiënt ( $Oq$ )
- V - I open quotiënt. (Open q)

Verder zijn de relatieve sluitingsamplitude ( $Arel_s$ ), de relatieve openingsamplitude ( $Arel_o$ ) en het relatieve oppervlak ( $Or$ ) bepaald. Bij de berekening van deze quotiënten op de larynxpreparaten was er een sterke spreiding in de meetpunten. De quotiënten konden praktisch alle waarden aannemen. Een lijn in de figuren 39 tot 46 geeft de tendens van het betreffende quotiënt weer. Echte conclusies waren niet te trekken. Er werd naar een oorzaak gezocht voor deze grote spreiding. Er werden rekproeven met stembanden gedaan, die volgens een stap of geleidelijk werden verlengd, waarbij de kracht op de klampen waaraan de stembanden bevestigd waren, continu werd gemeten met een krachttransducer. Er werd gevonden dat de stembanden na iedere verlenging blijvend in lengte waren toegenomen, waardoor bij de meting een afname te zien was van de kracht op de klampen. Praktisch gezien betekent dit dat elke rek of trek tijdens de larynxproeven een wijziging betekent in de oorspronkelijke instelling. Dit verklaart de spreiding in de meetgegevens, doch is ook een waarschuwing voor iedereen die precisie metingen verricht aan dood stembandweefsel. Wel is het preparaat bruikbaar voor kwalitatieve bepalingen. Aangezien het elektroglottogram van de humane larynx in overeenstemming is met het elektroglottogram bij de proefpersoon, werd de quotiëntenberekening op 6 mannelijke proefpersonen verricht. Nu werden bruikbare quotiënten gevonden met een betrekkelijk kleine spreiding, gebaseerd op dezelfde twee basisvormen van het elektroglottogram.

Andere vormen werden niet gevonden. De vorm behorende bij het borstregister gaat rond 300 Hz over in de vorm, die behoort bij het falsetregister. Voor luid foneren is dit tevens 300 Hz en voor zacht foneren onder 300 Hz. Deze registerovergang wordt ook in het fonetogram gevonden.

De gevonden quotiënten leverden de volgende normaalwaarden op:

Quotiënt	Borstregister	Falsetregister
Sq	0,11 ± 0,04	
Sq <sub>t</sub>	0,19 ± 0,05	
Gesl. q	0,32 ± 0,09	0,12 ± 0,04
Oq	0,23 ± 0,07	
Open q	0,33 ± 0,10	0,54 ± 0,10
Or	0,45 ± 0,05	0,32 ± 0,05
Arel <sub>s</sub>	0,88 ± 0,07	
Arel <sub>o</sub>	0,67 ± 0,14	0,88 ± 0,07

De vocaalkeuze heeft géén invloed op de vorm van het elektroglottogram. Om een beter begrip te krijgen van de elektrische activiteiten binnen de larynx werd een elektrisch model opgesteld waarbij gebruik gemaakt werd van uitsluitend ohmse weerstanden. Uit dit model bleek dat de momentele amplitude van het elektroglottogram evenredig is met het stembandoppervlak dat het elektrisch contact bepaalt.

## Summary

In this thesis an experimental investigation with the electroglottograph, an apparatus for measuring the electrical impedance of the vocal chords (Fabre, 1957), is described. This impedance constitutes only a small part of the total electrical impedance of the neck. The account of the waveform of the electroglottogram - the impedance variation caused by the movements of the vocal chords - that is given in the literature goes only as far as a statement of whether the vocal folds are open or closed, together with a scanty indication of the moment of initial closure. Descriptions of other features, and thus a calculation of the quotients, seem to be lacking. The moment of maximal closure was identified by Lecluse et al. (1975) as the peak just after the steep slope, and the period of opening as the part just after the least steep slope. Because of difficulties with the apparatus a comparative study of different electroglottographs was carried out. This showed that there was a distinction between types of apparatus that detected merely the vibrations of the neck, and types that genuinely reproduced a signal from the vocal chords. To be sure of obtaining the latter it is important to choose apparatus having a carrier wave of sufficiently high frequency ( $> 100$  kHz) and a high-pass filter characteristic with a sufficiently low cut-off frequency ( $\leq 2,5$  Hz). Measurements were made with such apparatus on male larynx preparations, which were used because of the length of the vocal chords and because it was easy to make them vibrate. Electroglottograms were obtained which appeared to agree with those of living human subjects. Two basic characteristic forms were observed: a broad electroglottogram, which occurred mainly in the low-frequency range (below 150 Hz), and a narrow, nearly symmetrical electroglottogram, which occurred principally in the frequency range above 150 Hz. These electroglottograms are characteristic of the chest and falsetto registers respectively. By making a comparison with simultaneous stroboscopic observations, specific events could be identified in the electroglottogram (fig. 34). Event:

- I is the moment of initial closure at a single point
- II is the moment at which closure is completed over the whole length, but not in the vertical plane
- III is the moment at which closure is completed over the whole vertical plane
- IV is the moment at which opening begins
- V is the first moment at which the whole length is open.

The intervals between these events can be described as follows:

- I - II is the period during which closure progresses along the length of the glottis
- II - III is the period during which closure is extended to the full depth of the glottis
- III - VI is the period during which this complete closure disappears progressively in the vertical direction
- IV - V is the period during which the glottis opens progressively along its length
- V - I is the period during which the glottis is completely open.

The corresponding quotients (i.e. the ratio between the interval and the periodic time) (fig. 34, page 78):

Dutch abbreviations:

- |         |                          |                    |
|---------|--------------------------|--------------------|
| I - II  | closing quotient         | (Sq)               |
| I - III | maximum closing quotient | (Sq <sub>t</sub> ) |
| II - IV | closed quotient          | (Gesl.q)           |
| IV - V  | opening quotient         | (Oq)               |
| V - I   | open quotient            | (Open q)           |

In addition the relative closing amplitude ( $Arel_g$ ), the relative opening amplitude ( $Arel_o$ ) and the relative area ( $Or$ ) were determined. When these quotients were calculated for the larynx preparations, there was a wide spread in the results, so that the quotients could apparently take almost any values. The lines drawn in figures 39 to 46 show the probable trends of the various quotients. No definite conclusions can be drawn. The cause of this wide spread was investigated as follows: the vocal chords were mounted between two clamps, one of which was attached to a force transducer, so that the force exerted could be continuously monitored. The vocal chords could be extended, either quickly or gradually, by increasing the separation between the clamps. It was found that after each extension the rest length had been permanently increased. This means in practice that each stretch or extension occurring during the experiments on the larynx preparation alters the original conditions. This behavior accounts for the spread of the results. Furthermore it implies that it is difficult to carry out precise measurements on dead vocal chord tissue, although the preparation is useful for qualitative observations.

Since the electroglottogram of the dead human larynx was consistent with the electroglottograms of living subjects, the quotients were calculated for six male subjects (figures 58-65 for one person and figures 66-73 for six per-

sons. Useable quotients, having a relatively small spread, were obtained for each of the two basic electroglottogram forms mentioned above. No other forms were observed. There was a transition from the chest-register form to the falsetto-register form at a frequency which was about 300 Hz for loud phonation and rather lower for soft phonation. The same transition was seen in the phonetogram.

From the experimentally determined quotients the following normal values were obtained:

Quotient	Chest register	Falsetto register
$Sq$	$0,11 \pm 0,04$	
$Sq_t$	$0,19 \pm 0,05$	
$Gesl.q$	$0,32 \pm 0,09$	$0,12 \pm 0,04$
$Oq$	$0,23 \pm 0,07$	
$Open\ q$	$0,33 \pm 0,10$	$0,54 \pm 0,10$
$Or$	$0,45 \pm 0,05$	$0,32 \pm 0,05$
$Arel_s$	$0,88 \pm 0,07$	
$Arel_o$	$0,67 \pm 0,14$	$0,88 \pm 0,07$

The choice of vowel does not influence the form of the electroglottogram.

To obtain a better understanding of the electrical activity within the larynx, an electrical model was set up, in which only ohmic resistors were used. The model showed that the instantaneous amplitude of the electroglottogram is proportional to the area of electrical contact between the vocal chords.

## Résumé

Dans cette thèse se décrit un examen expérimental à l'aide d'une électroglottographe (Fabre, 1957), appareil qui mesure l'impédance électrique des cordes vocales qui ne forme qu'une partie restreinte de l'impédance totale du cou. Dans la littérature on ne trouve dans l'explication de l'ondulation de l'électroglottogramme - la variation de l'impédance causée par le mouvement des cordes vocales - qu'une description du moment ouvert et fermé de la glotte avec quelques rares indications du tout premier moment de la fermeture. Une lacune subsistait dans la description d'autres points marqués et, par conséquent dans le calcul du quotient. La fermeture maximale est décrite par Lecluse et autres (1975) comme le sommet après la descente rapide et l'ouverture comme la partie après la descente la moins rapide. A cause de problèmes avec les appareils s'effectuait un examen comparatif avec plusieurs électroglottographes. Pendant cet examen se montraient des différences d'appareils qui ne fonctionnent que comme des détecteurs de mouvement des vibrations du cou d'une part et des appareils quiregistrent le signal de la corde vocal de l'autre. Il est important de choisir un appareil d'une onde porteuse de haute fréquence ( $> 100\text{kHz}$ ) et d'une basse fréquence coupante du filtre qui fait passer la haute fréquence. La fréquence coupante de ce filtre peut être 2,5 Hz au maximum. Avec cet appareil on a examiné des préparatifs de larynx masculins dont on se sert à cause de la longueur des cordes vocales et de leur qualités faciles de phonation. Il paraît s'établir une électroglottogramme qui correspond à la personne en expérience vivante. On trouve deux formes de base caractéristiques: - une électroglottogramme large qui se rencontre surtout dans la domaine de fréquence basse (au-dessous de 150 Hz) et - une électroglottogramme étroite, presque symétrique qu'on trouve principalement dans le domaine de fréquence au-dessus de 150 Hz. Ces électroglottogrammes sont caractéristiques pour les registres de la poitrine et de fausset. En faisant un examen comparatif à l'aide de stroboscopie simultanée on réussit à établir des événements spécifiques dans l'électroglottogramme. Événement: (fig. 34)

- I la fermeture première à un seul point
- II la fermeture sur toute la longueur mais ne pas dans l'espace verticale
- III la fermeture sur toute l'espace verticale
- IV le premier moment de l'ouverture
- V le premier moment d'être ouvert de toute sa longueur.

On pourrait décrire les périodes entre les événements comme suit:

- I - II la période durant laquelle a lieu la fermeture de toute la longueur
- II - III la période durant laquelle a lieu en même temps la fermeture sur toute la profondeur de la glotte
- III - IV la période durant laquelle cette fermeture complète décroît en sens vertical
- IV - V la période durant laquelle a lieu l'ouverture sur la longueur de la glotte
- V - I la période d'être ouverte.

Les quotients correspondants (c'est-à-dire le rapport entre le trajet en la période) sont les suivants (fig. 34, pag. 78):

abréviations en néerlandais

I - II	: quotient de fermeture	(Sq)
I - III	: quotient de fermeture maximal	(Sq <sub>t</sub> )
II - IV	: quotient fermé	(Gesl.q)
IV - V	: quotient d'ouverture	(Oq)
V - I	: quotient ouvert	(Open q)

En plus l'amplitude de fermeture relative ( $Arel_s$ ), l'amplitude d'ouverture relative ( $Arel_o$ ) et la surface relative ( $Or$ ) ont été déterminées. En calculant ces quotients pour les préparatifs du larynx il y avait un fort échelonnement dans les résultats de sorte que les quotients pouvaient prendre pratiquement toutes les valeurs. Une ligne probable dans les figures 39 jusqu'à 46 montre la tendance du quotient en question. On ne pourrait tirer des conclusions définitives. On examinait la cause de ce grand échelonnement de la façon suivante. Les cordes vocales furent attachées entre deux tenons dont l'un fut attaché à un transducteur de force de sorte que la force exercée pût être enregistrée continuellement. Les cordes vocales pouvaient être étendues, ou bien rapidement, ou bien graduellement en augmentant la distance entre les tenons. On constatait qu'après chaque extension la longueur restante s'était accrue continuellement. Pratiquement parlant ceci signifie que toute extension et tout allongement pendant les expériences avec les préparatifs du larynx amène un changement dans les conditions originales. Cela explique l'échelonnement des résultats et constitue en même temps un avertissement pour tous ceux qui exécutent des enregistrements de précision sur le tissu mort de la corde vocale bien que le préparatif est utilisable pour des déterminations qualificatives. Comme l'électroglottogramme du larynx humain mort correspond à l'électroglottogramme du sujet en expérience vivant calcul des quotients fut exécuté



sur six sujets du genre masculin. Des quotients utilisables étaient trouvés avec un échelonnement relativement restreint basé sur les mêmes deux formes de base de l'électroglottogramme. D'autres formes ne furent pas obtenues. La forme appartenant au registre de poitrine passe à la forme appartenant au registre de fausset autour de 300 Hz. Pour la phonation forte c'est également 300 Hz en pour la phonation douce au-dessous de 300 Hz. Cette transition de registre se retrouve dans la phonétogramme.

Les quotients trouvés donnaient les valeurs normales suivantes:

Quotient	Registre de poitrine	Registre de fausset
Sq	0,11 ± 0,04	
Sq <sub>t</sub>	0,19 ± 0,05	
Gesl. q	0,32 ± 0,09	0,12 ± 0,04
Oq	0,23 ± 0,07	
Open q	0,33 ± 0,10	0,54 ± 0,10
Or	0,45 ± 0,05	0,32 ± 0,05
Arel <sub>s</sub>	0,88 ± 0,07	
Arel <sub>o</sub>	0,67 ± 0,14	0,88 ± 0,07

Le choix de la voyelle n'influe pas sur la forme de l'électroglottogramme. Pour avoir une meilleure idée des activités électriques dans le larynx un modèle électrique fut monté où l'on se servait uniquement de résistances ohmiques. Ce modèle montrait que l'amplitude momentanée de l'électroglottogramme est proportionnelle à la surface du contact électrique entre les cordes vocales.

## Zusammenfassung

In dieser Dissertation wird eine Experimentalforschung mit dem Elektroglossograph beschrieben (Fabre, 1957), einem Apparat, der die elektrische Impedanz der Stimmbänder messen kann, die nur einen kleinen Teil der Totalimpedanz des Halses ausmacht. In der Literatur ist man mit der Erklärung für die Wellenform des Elektroglossogramms - die elektrische Impedanzvariation wegen des Bewegungsvorgangs der Stimmbänder - nicht weiter gekommen, als eine Definition für das Geöffnet- und Geschlossensein der Glottis, mit spärlichen Indikationen für den allerersten Moment des Schliessens. Es gab nach wie vor eine Lücke in der Beschreibung anderer markanter Punkte und somit in der Quotientberechnung. Die Maximalschliessung wird von Lecluse u.a. (1975) definiert als die Spitze nach der steilen Steigung, und die Öffnung als der Teil nach der am wenigsten steilen Steigung. Wegen Problemen mit der Apparatur wurde eine vergleichende Forschung mit mehreren Elektroglossographen vorgenommen. Hierbei ergaben sich Unterschiede zwischen Apparaten, die nur als Bewegungsdetektoren der Halsschwingungen funktionieren und Apparaten, die tatsächlich das Stimmbandsignal wiedergeben. Wichtig ist die Wahl eines Apparats mit einer hochfrequenten Trägerwelle ( $> 100$  KHz) und einer niedrigen Abschnittsfrequenz des Hochdurchlassfilters. Die Abschnittsfrequenz des Hochdurchlassfilters darf maximal 2,5 Hz sein. Hiermit ist auf männlichen Larynxpräparaten gemessen worden, die wegen der Länge der Stimmbänder und wegen ihrer leichten Phonationseigenschaften gebraucht werden. Es stellt sich heraus, dass ein Elektroglossogramm entsteht, das mit der lebenden Versuchsperson übereinstimmt. Es werden zwei charakteristische Basisformen gefunden: ein breites Elektroglossogramm, das namentlich im niedrigen Frequenzbereich (unter 150 Hz) vorkommt, und ein schmales, fast symmetrisches Elektroglossogramm, das hauptsächlich im Frequenzbereich über 150 Hz vorkommt. Diese Elektroglossogramme sind charakteristisch für das Brust- bzw. das Falsettregister. Durch vergleichende Forschung mit Hilfe der Stroboskopie wurden spezifische Zeitpunkte im Elektroglossogramm gefunden (Fig. 34). Zeitpunkt:

- I ist das allererste Schliessen an einem Punkt
- II ist das Schliessen über die ganze Länge, jedoch nicht in der Vertikalfläche
- III ist das Schliessen über die ganze Vertikalfläche
- IV ist der erste Moment des Öffnens
- V ist der erste Moment des Offenseins über die ganze Länge.

Die Strecken zwischen den Zeitpunkten können folgenderweise beschrieben werden:

- I - II ist der Bereich, worüber das Schliessen über die ganze Länge stattfindet
- II - III ist der Bereich, worüber das Schliessen auch über die ganze Tiefe der Glottis stattfindet
- III - IV ist der Bereich, worüber dieses vollständige Schliessen im vertikalen Sinn abnimmt
- IV - V ist der Bereich, in dem das Öffnen über die Länge der Glottis stattfindet
- V - VI ist die Periode des Offenseins.

Die dazugehörigen Quotienten (Strecke/Periodezeit) sind (Fig. 34, Seite 78):

holländische Abkürzungen

- |                                     |                    |
|-------------------------------------|--------------------|
| I - II Schliessungsquotient         | (Sq)               |
| I - III Maximalschliessungsquotient | (Sq <sub>t</sub> ) |
| III - IV geschlossener Quotient     | (Gesl. q)          |
| IV - V Öffnungsquotient             | (Oq)               |
| V - I offener Quotient              | (Open q)           |

Ausserdem sind die relative Schliessungsamplitude, die relative Öffnungsamplitude und die relative Oberfläche bestimmt worden. Bei der Berechnung dieser Quotienten auf den Larynxpräparaten gab es eine starke Spreizung in den Messpunkten. Die Quotienten konnten so gut wie alle Werte annehmen. Eine wahrscheinliche Linie in den Figuren 39 bis 46 stellt die Tendenz des einschlägigen Quotients dar. Echte Schlussfolgerungen konnten nicht gezogen werden. Es wurde nach einer Ursache dieser grossen Spreizung gesucht. Auf grund von Dehnungsversuchen mit Stimmbändern mit plötzlicher und allmählicher Verlängerung, wobei die Kraft auf den Klammern, an den die Stimmbänder befestigt waren, ununterbrochen mit einem Krafttransducer gemessen wurde, stellte es sich heraus, dass in den Stimmbändern bei jeder Verlängerung dauernde Längenänderungen aufkommen, die bei der Messung eine Abnahme der Kraft auf den Klammern zu sehen gaben. In der Praxis bedeutet dies, dass jedes Dehnen oder Ziehen während der Versuche eine Aenderung in der ursprünglichen Einstellung bedeutet. Dies erklärt die Spreizung der Messangaben, es ist jedoch auch eine Warnung für jeden, der Präzisionsmessungen an totem Stimmbandgewebe unternimmt. Allerdings ist das Präparat zu qualitativen Bestimmungen brauchbar. Weil das Elektroglottogramm des menschlichen Larynx mit dem Elektroglottogramm der Versuchsperson übereinstimmt, wird die Quotientenberechnung auf 6 männ-

lichen Versuchspersonen durchgeführt. (Fig. 58-65 für einen Person, Fig. 66-73 für sechs Personen). Jetzt werden brauchbare Quotienten mit verhältnismässig kleiner Spreizung gefunden, basiert auf denselben zwei Basisformen des Elektrogloggammms. Andere Formen werden nicht gefunden. Die zu dem Brustregister gehörende Form geht bei etwa 300 Hz in die zum Falsettregister gehörende Form über. Für lautes Phonieren ist dies auch 300 Hz und für leises Phonieren unter 300 Hz. Dieser Registerübergang wird auch im Phonetogramm gefunden. Die gefundenen Quotienten ergeben folgende Normalwerte:

Quotient	Brustregister	Falsettregister
Sq	0,11 ± 0,04	
Sq <sub>t</sub>	0,19 ± 0,05	
Geslg. q	0,32 ± 0,09	0,12 ± 0,04
Oq	0,23 ± 0,07	
Open q	0,33 ± 0,10	0,54 ± 0,10
Or	0,45 ± 0,05	0,32 ± 0,05
Arel <sub>s</sub>	0,88 ± 0,07	
Arel <sub>o</sub>	0,67 ± 0,14	0,88 ± 0,07

Die Vokalwahl hat keinen Einfluss auf die Form des Elektrogloggammms. Um ein besseres Verständnis der elektrischen Aktivitäten innerhalb des Larynx zu bekommen, wird ein elektrisches Modell aufgestellt, bei dem ausschliesslich Ohmsche Widerstände verwendet wurden. Aus diesem Modell ergab sich, dass die Momentamplitude des Elektrogloggammms proportional ist zu der elektrischen Kontaktfläche zwischen die Stimmbänder.

# LITERATUUR

- ARNDT, H.J., Diskussion zum F.W. Oeken. Archiv Ohren usw. Heilkunde, 180 (1962), 804.
- ARNOLD, G.E., Physiology and pathology of the cricothyroid muscle. The Laryngoscope, 71 (1961), 687-753.
- ARNOLD, G.E., Vocal rehabilitation of paralytic dysphonia. Technique of intracordal injection. Arch. Otolaryng., 76 (1962), 358.
- BARTH, V., Die Lupenstroboskopie, HNO, 25 (1977), 35.
- BAUER, S., Laryngoskopie mit akustisch gesteuertem Lichtblitzstroboskoop. Proc. 5th Int. Congr. ORL, Amsterdam (1953), 915-919.
- BECK, J.D., Ueber funktionell hypokinetische Stimmstörungen. Proefschrift Ludwig-Maximilians-Universität, München, (1967).
- BECKMANN, G., Elektroakustische Untersuchungen über den primären Kehlkopftön. Archiv Ohren usw. Heilkunde, 169 (1956), 196-201.
- BERG, van den Jw., Physica van de stemvorming met toepassingen. Proefschrift Groningen, (1953).
- BERG, van den Jw., Sur les théories myo-elastique et neuro-chronaxique de la phonation. Rev. Laryngol. Bordeaux, 75 (1954a), 494-512.
- BERG, van den Jw., The properties of the vocal cavities. Fol. Phoniatic., 6 (1954b), 8-14.
- BERG, van den Jw., MOLL, J., Zur Anatomie des menschlichen Musculus vocalis. Z. Anat. Entwickl.-Gesch., 118 (1955a), 465-470.
- BERG, van den Jw., On the rôle of the laryngeal ventricle in voice production. Folia Phoniatic. 7 (1955b), 57-69.
- BERG, van den Jw., Physiology and physics of voice production. Acta Physiol. Pharmacol. Neerl., 5 (1956a), 40-55.
- BERG, van den Jw., Direct and indirect determination of the mean subglottic pressure. Folia Phoniatic. 8 (1956b), 1-24.
- BERG, van den Jw., Microphonic effect of the larynx. Nature, 179 (1957a), 625-626.
- BERG, van den Jw., ZANTEMA, J.T., DOORNENBAL, P. On the air resistance and the Bernoulli effect of the human larynx. J. Acoust. Soc. Amer., 29 (1957b), 626-631.
- BERG, van den Jw., Isolated human larynxes. Sound production in man. Ann. N.Y. Acad. Sc., 155 (1958a), 18-27.
- BERG, van den Jw., Myo-elastic-aerodynamic theory of voice production. J. Sp. H. Res. 1 (1958b), 227-244.
- BERG, van den Jw., A  $\Delta f$  - generator and movie-adaptor unit for laryngo-stroboscopy. Pract. ORL 21 (1959a), 355-363.
- BERG, van den Jw., TAN, T.S., Results of Experiments with human larynxes. Pract. ORL 21 (1959), 425-450.
- BERG, van den Jw., VENNARD, W., BURGER, D., SHERVANIAN, C.C., Voice production: the vibrating larynx, 16 mm film (1960a).
- BERG, van den Jw., Vocal ligaments versus registers. Curr. Probl. Phoniatic., 19-34, Kargel, Basel/New York, (1960b).
- BERG, van den Jw., Modern rerearch in experimental phoniatrics. Folia Phoniatic. 14 (1962), 81-149.
- BERG, van den Jw., Some physical aspects of voice production. In: Research potentials in voice physiology. Ed. D. Brewer, State Univ. New York, (1964).

- BERG, van den Jw., Register problems, *Ann. N.Y. Acad. Sc.*, 155 (1968), 129-134.
- BERG, van den Jw., Mechanism of the larynx and the laryngeal vibrations.  
In: *Manual of phonetics*. Ed. B. Malmberg, Lund, (1970).
- BERKOVITS, R.N.P., Therapeutische laryngo-tracheale intubatie.  
*Proefschrift*, Rotterdam (1971).
- BJUGGREN, G., Device for laryngeal phase-determinable flash photography  
*Fol. Phoniat.*, 12 (1960), 36-41.
- BIONDI, S., BIONDI-ZAPPALA, M., Surface of laryngeal mucosa seen through the  
scanning electron microscope. *Fol. Phoniat.*, 26 (1974), 241-248.
- BLEEKER, J.D., VRIES, de HL, The microphonic activity of the labyrinth of the  
pigeon. Part I, The cochlea, *Acta Oto Lar.* 37 (1949), 289-298.
- BOBERG, A., Ueber Elektroglottographie und Phono-Oszillometrie als Hilfsmittel  
bei Stimm-Diagnosen. V Congr. Europ. Fon., Leipzig (1975). (niet in druk  
verschenen).
- BOBERG, A., Persoonlijke mededeling (1977).
- BÖHME, G., Untersuchungsmethoden der Stimme und Sprache, J.A. Barth, Leipzig, (1972).
- BOUCHE, J., PECH, A., PIQUET, J.J., FRACHE, Ch., PARDES, P., La micro-chirurgie  
laryngée sous suspension. *Librairie Arnette, Parijs*, (1973), 178-182.
- BUCH, N.H., FRØKJAER-JENSEN, B., Some remarks on acoustic parameters in speech  
disorders, *ARIPUC 6* (1972), 245-259.
- BURCKHARDT, F., Die Basler Mathematiker Daniel Bernoulli und Leonhard Euler.  
*Verhandl. Naturforsch. Gesellsch. Basel VII*, Anhang 5-18, (1884).
- BURGER, D., BERG, van den Jw., Experimental huskiness (hoarseness). *Pract. ORL*  
24 (1962), 192.
- BÜRGER, J.D., Die Beobachtung der Stimmlippenbewegungen mittels der Glottographie.  
*Proefschrift Ludwig-Maximilians-Universität, München*, (1967).
- CALVET, J., MALHIAIC, Courbes vocales et mue de la voix. *J. Français O.R.L.* 1  
(1952), 115-124.
- CAVAGNA, G.A., MARGARIA, R., An analysis of the mechanism of phonation.  
*J. Appl. Physiol.*, 20 (1965), 301-307.
- CAVAGNA, G.A., CAMPORESI, E.M., Glottic aerodynamics and phonation.  
In: *Research potentials in voice physiology*. Ed. Brewer, D., State Univ.  
N.Y., (1964), 76-92.
- CHEVRIE-MULLER, C., Etude del'électroglottogramme et du phonogramme en période  
de 'mue vocale'. *Ann. Oto-Laryng.*, (Paris), 79 (1962), 1035-1044.
- CHEVRIE-MULLER, C., Etude de fonctionnement laryngé chez les bègues par la  
méthode glottographique. *Rev. Laryng.* (Bordeaux), 85 (1964), 763-774.
- CHEVRIE-MULLER, C., Contribution à l'étude des traces glottographiques chez  
l'adulte normal. *Rev. Laryngol.* (Bordeaux), 88 (1967), 227-243.
- CHEVRIE-MULLER, C., CERCEAU, N., DORDAIN, M., GOUDET, C., LE HUCHE, F.  
Dystonies, dyskinesies et tremblements touchant la phonation.
- COOLEY, W.J., The parameters of transthoracic electrical conduction. *Int. con-*  
*ference in bioelectrical impedance. Ann. N.Y. Acad. Soc.*, 170 (1970),  
702-713.
- COOLSAET, B.L.R.A., DUYL, van W.A., MASTRIGT, van R., SCHOUTEN, J.W.  
Viscoelastic properties of bladder wall strips, *Invest. Urol.* 12 (1975),  
351-356.
- COOLSAET, B.L.R.A., MASTRIGT, van R., DUYL, van W.A., HUYGEN, R.E.F.  
Viscoelastic properties of bladder wall strips at constant elongation,  
*Invest. Urol.* 13 (1976), 435-440.
- DAMSTÉ, P.H., De regeling van de stembandspanning. *Logopaedie en Foniatrie*,  
33 (1961).
- DAMSTÉ, P.H., X-ray study of phonation. *Fol. Phoniat.* 20 (1968a), 65-88.
- DAMSTÉ, P.H., HOLLIEN, H., MOORE, P., MURRY, Th., An X-Ray study of vocal  
fold length. *Fol. Phoniat.* 20 (1968b), 349-359.

- DAMSTÉ, P.H., 'De pathologische stembandfunctie'. Ed. Stafleu, Leiden, (1970).
- DAMSTÉ, P.H., WIENEKE, G.H., Experiments on the elasticity of the vocal cords, J. South African Sp. H. Ass., 20 (1973), 14-21.
- DAMSTÉ, P.H., Persoonlijke mededeling, 1977.
- DECROIX, G., DUJARDIN, J., Etude des accolements glottiques au cours de la phonation par la glottographie de haute fréquence. J. Français O.R.L. 7 (1958), 493.
- DEINSE, van J.B., Lamérisymp. Utrecht, (1974), 23-39.
- DEKKER, E., De invloed van de intrathoracale druk op de wijde en stromingsweerstand van de luchtwegen bij normale proefpersonen en bij patienten met asthma en emphyseem. Proefschrift Groningen, (1958), 156-158.
- DENKER, A., KAHLER, O., Handbuch der H.N.O.-Heilkunde, I 1, (1925).
- DOPPLER, geciteerd door Schönhärl (1960).
- DORDAIN, M., Etude clinique et instrumentale de la voix et la parole des femmes âgées. Rev. Franç. Géront. XIII (1967), 163-170.
- DUNKER, E., SCHLOSSHAUER, B., Klinische und experimentelle Studien über Stimmlippenschwingungen. Archiv. Ohren usw. Heilk., 172 (1958), 363-380.
- DUNKER, E., Neue Ergebnisse der Kehlkopfphysiologie, Fol. Phoniät., 21 (1969), 161-178.
- DUVELLEROY, M., La glottographie en module et en phase. Moyens d'étude des schémas électriques équivalents du larynx. Proefschrift, Parijs (1961).
- EWALD, J.R., Zur Konstruktion von Polsterpfeifen, Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie, 152 (1913), 171-186.
- FAABORG-ANDERSEN, K., Electromyographic investigation of intrinsic laryngeal muscles in humans. Acta Physiol. Scand., suppl. 140, 41, (1957).
- FAABORG ANDERSEN, K., YANAGIHARA, N., LEDEN von H., Vocal pitch and intensity regulation. Arch. of Otolaryng. 85 (1967), 122-128.
- FABRE, Ph., Un procédé électrique percutané d'inscription de l'accolement glottique au cours de la phonation: glottographie de haute fréquence. Premiers résultats. Bulletin de l'Académie nationale de Médecine, 141 (1957), 66-69.
- FABRE, Ph., Etude comparée des glottogrammes et des phonogrammes de la voix humaine. Ann. Oto Lar. Paris 75 (1958), 767-775.
- FABRE, Ph., La glottographie électrique en haut fréquence particularités d'appareillage, C.R. Soc. Biol. Paris, 153 (1959), 1361.
- FABRE, Ph., Glottographie respiratoire. Ann. Oto Lar. Paris, 78 (1961), 814-824.
- FANT, G., A new antiresonance circuit for inverse filtering, STL-QPSR 4, (1961), 1-6, Stockholm.
- FANT, G., ONDRAČKOVÁ, J., LINDQVIST, J., SONESSON, B., Speech production and analysis. A. Electrical glottography, STL-QPSR-4 (1966), 15-21.
- \* FARNSWORTH, D.W., Film van 'Bell Telephone Company Laboratories' 'The human vocal cords' 1937. a. Gecit. Pressman, J. en Kelemen, G., Physiology of the larynx. Physiol. Rev. 35, (1955), 506-554, b. gecit. Timcke, R. e.a., Arch. of Otolaryng. 68 (1958), 18.
- FINK, B.R., KIRSCHNER, F., Observations on the acoustical and mechanical properties of the vocal folds. Folia phoniät. 11, (1959), 167-172.
- FINK, B.R., Adaptation for phonatory efficiency in the human vocal folds, Ann. Otol. Rhin. Laryng. 71 (1962), 79-85.
- FINK, B.R., 'The human larynx, a functional study'. Ed. Raven Press, New York, (1975).
- FISCHER-JØRGENSEN, E., FRØKJAER-JENSEN, B. en RISCHER, J., Preliminary experiments with the Fabre glottograph. ARIPUC, 1 (1966), 22-30.

- FOURCIN, A.J., NORGATE, M., Measurement of the trans-glottal impedance. Progress Report Phon. Lab. Univ. College London (1965).
- FOURCIN, A.J., WEST, J.E., Larynx movement detector. Extr. Progress Report Phon. Lab. Univ. College London (1968).
- FOURCIN, A.J., ABBERTON, Ev., First applications of a new laryngograph. Medical and Biological Illustration 21 (1971), 172-182.
- FOURCIN, A.J., ROACH P., DONOVAN, R., (unpublished investigation). Zie: 'Ventilatory and phonatory control systems'. Ed. B. Wyke, Oxford University, 1974.
- FRØKJAER-JENSEN, B., THORVALDSEN, P., Construction of a Fabre glottograph. ARIPOC, 3 (1968), 1-8.
- FRØKJAER-JENSEN, B., The electroglottograph, Type EG 830 - Manual - 1973.
- FRØKJAER-JENSEN, B., Persoonlijke mededeling, Interlaken, 1974.
- GARCIA, M., In: R. Scott Stevenson: 'A history of oto-laryngology'. E.G.S. Livingstone Ltd., Edinburgh, 1949.
- GOERTLER, K., Die Anordnung, Histologie und Histogenese der quergestreiften Muskulatur in menschlichen Stimmband. Z. f. Anat. Entw. Gesch. 115 (1950), 352-401.
- GORDON, M.T., Persoonlijke mededeling 17 Int. Congr. Log. Fon. (1977), Kopenhagen.
- GOUGEROT, L., GRÉMY, F., MARSTAL, N., Glottographie à large bande passante. Application à l'étude de la voix de fausset, J. Physiol. 52 (1960), 823-832.
- GOULD, W.J., Effect of respiratory and postural mechanisms upon action of the vocal chords. Folia Phoniat. 23 (1971), 211-224.
- GRÉMY, F., Considérations sur l'énergie mécanique du larynx durant la phonation, J. Physiol. 52 (1960), 555-567.
- GRÉMY, F., Etude du glottogramme chez l'enfant sourd en cours de rééducation vocale, Ann. Oto-Laryngol. Paris, 80 (1963), 803-815.
- GUTZMANN, H., 'Physiologie der Stimme und Sprache', 2 Auflage, Druck und Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn A.G., Braunschweig, 1928.
- HAJEK, M., Beiträge zur Anatomie der Stimmlippen, Zeitschrift H.N.O.-Heilk. 13 (1925), 161-171.
- HARTMANN, W., WULLSTEIN, H., Untersuchungen über den Bewegungsvorgang an den schwingenden Stimmlippen von Kehlkopfpräparaten mit verbesserter Photozellenmethode, Archiv. Ohren usw. Heilk. 144 (1938), 348-360.
- HAST, M.H. Mechanical properties of the cricothyroid muscle, Laryngoscope 76 (1966a), 537-548.
- HAST, M.H., Physiological mechanisms of phonation: tension of the vocal fold muscle, Acta oto-laryng. 62, (1966b), 309-318.
- HAST, M.H., Mechanical properties of the vocal fold muscle, Pract. ORL 29 (1967), 53-56.
- HAST, M.H., GOLBUS, S., Physiology of the lateral cricoarytenoid muscle, Pract. ORL 33 (1971), 209-214.
- HAST, M.H., Experimental physiology of the larynx, in: 'Measurement procedures in speech, hearing and language', Ed. Singh, Sadanand, Univ. Park Press, Baltimore, London, Tokyo, 1975.
- HAYDEN, E.H., KOIKE, Y., A data processing scheme for frame by frame film analysis, Folia Phoniat. 24 (1972), 169-181.
- HIRANO, M., VENNARD, W., OHALA J., Regulation of register, pitch and intensity of voice. An EMG-investigation of intrinsic laryngeal muscles, Folia phoniat. 22 (1970), 1-20.
- HIRANO, M., Vibration of the vocal cord with unilateral polyp. An ultra high speed cinematographic study, J. Oto-laryng. Japan, 8 (1974a), 2.
- HIRANO, M., Morphological structure of the vocal cord as a vibrator and its variations, Folia phoniat. 26 (1974b), 89-94.
- HIRANO, M., Regulatory mechanism of voice in singing, 16 mm film, (1974c).
- HIRANO, M., Function of the laryngeal muscles during phonation, Proc. Int. ENT-congress, Venetiä. Ed. Arslan, 1974d.
- HIRANO, M., 'Phonosurgery, basic and clinical investigations'. The 76th Annual Convention of the Oto-Rhino-Laryngological Society of Japan. Official report, 1975.



- HIRANO, M., KAKITA, Y., KAWASAKI, H., MATSUSHITA, H., 'Vocal cord vibration behavior of the layer-structured vibrator in normal and pathological conditions', Film, 1977.
- HIROTO, I., Pathophysiology of the larynx from the point of view of vocal mechanism, *Pract. Otol. Kyoto* 59 (1966), 229-292.
- HIROTO, I., 'Vibration of vocal cord', 16 mm film, 1968.
- HOLLIEN, H., Vocal fold thickness and fundamental frequency of phonation, *J. Speech and Hearing Research*, 5 (1962), 237-243.
- HOLLIEN, H., COLTON, R.H., Four laminagraphic studies of vocal fold thickness, *Folia phoniat.* 21 (1969), 179-198.
- HOLLIEN, H., BROWN, W.S., HOLLIEN K., Vocal fold length associated with modal, falsetto and varying intensity phonations, *Folia phoniat.* 23 (1971), 66-78.
- HOLLIEN, H., On vocal registers, *J. Phonetics* 2, (1974), 125-143.
- HOLM, C., Das Verhalten von Vokalen und Konsonanten im phono- und elektroglottographischen Bild, *Archiv Ohren usw. Heilk.* 194 (1969), 258-260.
- HOLM, C., Erste Ergebnisse einer Elektroglottographie im Kindesalter, *Archiv Ohren usw. Heilk.* 196 (1970), 359-363.
- HOLM, C., Wechselbeziehung von Konsonant- und Vokalstruktur (Ein Beitrag zur Objektivierung von Stimm- und Sprachbefunden). *Archiv Ohren usw. Heilk.*, 199 (1971a), 736-741.
- HOLM, C., L' évolution de la phonation de la première enfance à la puberté: une étude électroglottographique. *J. Franc. ORL* 20 (1971b), 437-440.
- HOLMER, N.G., KITZING, P., LINDSTRÖM, P., Echoglottography, *Acta Otolaryng.* 75 (1973), 454-463.
- HUSSON, R., TARNEAUD, J., La mechanisme des cordes vocales dans la phonation, *Revue Laryng. Otol. Rhinol.* 8 (1932), 961-999.
- HUSSON, R., Etude des phénomènes physiologiques et acoustiques fondamentaux de la voix chantée, *Proefschrift*, Paris, 1950.
- HUSSON, R., Analyses des forces qui s'exercent sur les cordes vocales de l'homme pendant leur vibration avec ou sans pression sous-glottique, *Rev. Laryng.*, Bordeaux 78, (1957), 515-532.
- HUSSON, R., Comportement phonatoire de la glotte à intensité croissante de 30 à 130 décibels, *J. de Physiologie* 52, (1960), 124-125.
- HUSSON, R., 'Physiologie de la phonation', Ed. Masson & Cie, Paris, 1962.
- ISSHIKI, N., Regulatory mechanism of voice intensity variation, *J. Speech Hearing Res.*, 7 (1964a), 17-29.
- ISSHIKI, N., Airflow during the production of selected consonants, *J. Speech, Hearing Res.*, 7 (1964b), 233-244.
- ISSHIKI, N., Remarks on mechanism for vocal intensity variation, *J. Speech Hearing Res.*, 12 (1969), 665-672.
- ISHIZAKA, K., MATSUDAIRA, M., Fluid mechanical considerations of vocal cord vibration, *Speech communication research lab. inc.*, St. Barbara, California, SCRL Monograph 8 (1972).
- JACKSON, CH., JACKSON CH.L., 'Diseases of the nose, throat and ear'. Handboek W.B. Saunders Cie, Philadelphia and London, 1959.
- KITZING, P., SONESSON B., A photoglottographical study of the female vocal folds during phonation, *Folia Phoniat.* 26 (1974), 138-149.
- KITZING, P., Methode zur kombinierten photo- und elektroglottographischen Registrierung von Stimmlippenschwingungen; Vortrag am V Phoniatrie-Symposium, Leipzig, 1975 (ongepubliceerd).
- KLEINSASSER, O., 'Mikrolaryngoskopie und endolaryngeale Mikrochirurgie', Ed. F.K. Schattauer, Stuttgart, New York, 1968.
- KOIKE, Y., HIRANO M., Glottal-area time function and subglottal-pressure variation, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 54 (1973), 1618-1626.
- KOIKE, Y., HIRANO M., MORIO, M., Function of the laryngeal muscles on the position and shape of the vocal cord; *Proc. 16 Int. Congr. Log. Fon.*, Interlaken, 1974.

- KÖSTER, J.P., SMITH, SV., Zur Interpretation elektrischer und photoelektrischer Glottogramme, *Folia Phoniat.* 22 (1970), 92-99.
- KRESA, Z., REMS, J., WICHTERLE, O., Hydroneal gel implants in vocal cords, *Acta Otolaryng.* 76 (1973), 360-365.
- KÜHL, B., Vocal cord vibrations interpreted as liquid surface waves and subharmonic register, *Proc. 17th Int. Congr. Log.Phon.*, 1977, Kopenhagen.
- LANGE Dzn, de H., Relationship between critical flickerfrequency and a set of low frequency characteristics of the eye, *J. Opt. Soc. Amer.*, 44 (1952), 380-389.
- LEBRUN, Y., On the so-called 'Dissociations' between electroglottogram and phonogram, *Folia Phoniat.*, 23 (1971), 225-227.
- LECLUSE, F.L.E., BROCAAR, M.P., *Laméris Symposium*, Utrecht, 1974, 1-7.
- LECLUSE, F.L.E., BROCAAR, M.P., VERSCHUURE J., The electroglottography and its relation to glottal activity, *Folia Phoniat.*, 27 (1975), 215-224.
- LECLUSE, F.L.E., Laboratory investigations in electroglottography, *Proc. 16th Int. Congr. Log. Phon.*, 1974. Ed. Karger, Basel, (1976)
- LECLUSE, F.L.E., Quantitative measurements in electroglottography, *17th Int. Congr. Log. Phon.*, Copenhagen, 1977 (in druk).
- LECLUSE, F.L.E., BROCAAR M.P., Ein elektrisches Model des Elektrogglottogramms, *Fortschr. VII Kongr. Europ. Phon.*, Weimar, 1977.
- LEDEN, von H., MOORE, P., TIMCKE, R., Laryngeal vibrations: measurements of the glottic wave, Part III The pathologic larynx, *Arch. Otolaryng.* 71 (1960), 26-45.
- LHOTE, E., Contribution à l'étude de la fonction linguistique du larynx, *Phonetica*, 28 (1973), 26-41.
- LOEBELL, E., Ueber den klinischen Wert der Elektrogglottographie. *Archiv Ohren usw. Heilk.*, 191, (1968), 760-764.
- LOEBELL, E., Persoonlijke mededelingen over de 'Glottograph MG 8', 1971.
- LOEBELL, E., Neue Ergebnisse der Elektrogglottographie (EGG), IX Wereld-KNO-Congres-Verhandelingen, 1970. Mexico City.
- LUCHSINGER, R., PFISTER, K., Ergebnisse von Kehlkopfaufnahmen mit einer Zeitdehner-apparatur, *Bull. schweiz. Akad. med. Wiss.*, 15 (1959), 164-177.
- LUCHSINGER, R., ARNOLD, G.E., 'Voice-speech-language' (1965), 64-68.
- MARKOVICH, S.E., Conference on bioelectrical impedance, *Ann. N.Y. Acad. Sc.* 170 (1970), 409.
- MÄRTENSSON, A., The functional organisation of the intrinsic laryngeal muscles, In: 'Sound production of man', *Ann.N.Y.Ac.Sc.*, 155(1968), 91-111.
- MATSUSHITA, H., The vibratory mode of the vocal folds in the excised larynx, *Folia phoniat.* 27 (1975), 7-18.
- MAYET, A., Zur funktionellen Anatomie der menschlichen Stimmlippe, *Z. f. Anat. Entw. Gesch.*, 119 (1955), 87-111.
- MAYET, A., Die morphologischen Grundlagen des Reinkeschen Stimmbandoedems, *Archiv Ohren usw. Heilk.*, 177(1961), 168.
- MILLER, R.L., Nature of the vocal cord wave, *J. Acoust. Soc. Amer.*, vol. 31, (1959), 667-677.
- MINNE, van der J.M., BERG, van den Jw., On the primary glottal sound, *Pract. ORL*, 27 (1965), 86-93.
- MOORE, G.P., WHITE, F.D., LEDEN von H., Ultra high speed photography in laryngeal physiology, *J.S.H. Dis.* 27 (1962), 165-171.
- MÜLLER, JOH., 'Handbuch der Physiologie des Menschen', vol. 2, Koblenz, Hölscher, 1837.
- NEGUS, V.E., 'The mechanism of the larynx', London, Heinemann, 1929.
- NEIL, W.F., WECHSLER, E., ROBINSON, J.M.P., Electrolaryngography in laryngeal disorders, *Clin. Otolaryngol.* 2 (1977), 33-40.
- NYBOER, J., Electrorheometric properties of tissues and fluids, *Int. Conference on bioelectrical impedance*, *Ann. N.Y. Acad. Sc.*, 170, 410-419.

- OEKEN, F.W., Beitrag zur Schallanalyse des primären Kehlkopftones, Archiv. Ohren usw., Heilk., 180 (1962), 800-804.
- OERTEL, 1878, Zie Berg, van den Jw., 1970 en Schönhärl, E., 1960.
- ORESKOVIC, M., ZEKIC, Z., Glottographie et sa valeur diagnostique en phoniatry, Proc. 12th Congr. of Log. Phon., 1962.
- PAULSEN, K., Der primäre Stimmklang des menschlichen Kehlkopfes, Archiv Ohren usw. Heilk., 187 (1966), 807-815.
- PEDERSEN, M.F., Electroglottography compared with synchronized stroboscopy in students of music (1975, niet in druk verschenen).
- PEDERSEN, M.F., Electroglottography compared with synchronized stroboscopy in normal persons, Folia Phoniat. (1977, in druk).
- PIQUET, J., DECROIX, G., LIBERSA, CL., DUJARDIN, J., Etude expérimentale per-opératoire chez l'homme des vibrations des cordes vocales sans courant d'air sous-glottique, Rev. Laryngol., Bordeaux (1957), 510-514.
- PLATEAU, 1829, zie Schönhärl (1960).
- PUNT, N., Lubrication of the vocal mechanism, Folia phoniat. 26 (1974), 287-288.
- RAMASWAMY, S., KULASEKARAN, D., The ganglion on the internal laryngeal nerve, Arch. Otolaryng., 100 (1974), 28-31.
- REINKE, F., Untersuchungen über das menschliche Stimmband, Fortschritte der Medizin, 12, (1895), 469-478.
- REINSCH, M., GOBSCH, H., Zur quantitativen Auswertung elektrogglottographischer Kurven bei Normalpersonen, Folia phoniat. 24 (1972), 1-6.
- REINSCH, M., Persoonlijke mededelingen Congr. Eur. Fon., Leipzig, 1975.
- ROHEN, J.W., Ueber den konstruktiven Bau des M. vocalis bei Mensch und Primaten, HNO 16 (1968), 111-114.
- RUBIN, H.J., HIRT, CH.C., The falsetto: a high speed cinematographic study, Laryngoscope 70, (1960), 1305-1325.
- RUBIN, H.J., COVER, LE M., VENNARD, W., Vocal intensity, subglottic pressure and air flow relationships in singers, Folia phoniat., 19 (1967), 393-413.
- RÜEDI, L., Some observations on the histology and function of the larynx, J. Laryng. Otol. 1959, 1-20.
- SABOURAUD, O., GREMY, F., Sur la possibilité de mouvements des cordes vocales sans émission sonore. Comptes rendus des séances de la Société de Biologie II, 6 (1958), 953.
- SAITO, SH.M.D., Microchirurgie stroboscopique du larynx, Rev. Laryng., 94 (1973), 9-10.
- SAITO, SH.M.D., FUKUDA, H., TAMURA, H., ONE, H., SHIMOMURA, M., ITOGA, M., Voice analysis system during phonosurgery and its clinical use. Film 1977, 17th Int. Congr. Log.Phon., Copenhagen.
- SAITO, SH.M.D., FUKUDA, H., KOKAWA N., ISOGATI, Y., MIZOI, K., YOBÉ, Y., visualisation of air flow at the moment of phonation, Film 1977, 17th Int. Congr. Log.Phon., Copenhagen.
- SCHULZ-COULON, H.J., Zur Bedeutung der kinästhetisch reflektorischen Phonationskontrolle für die Genauigkeit der Stimme, Folia phoniat., 28 (1976), 335-348.
- SCHULZ-COULON, H.J., FUES, C.P., Der Lombard-Reflex als Stimmfunktionsprüfung, HNO 24 (1976), 200-204.
- SCHÖNHÄRL, E., Interprétations cliniques de l'immobilité stroboscopique d'une seule corde vocale, Rev. Laryng. 40 (1957), 625-628.
- SCHÖNHÄRL, E., Die Stroboskopie in der praktischen Laryngologie, Ed. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1960.
- SCHUTTE, H.K., Het fonetogram als onderdeel van het foniatisch onderzoek, Verenigingsverslag, N.T.v.G., 118 (1974), 1733.
- SEIDNER, W., WENDLER, J., Mikrostromboskopie, Folia phoniat. 24 (1972), 81-85.
- SMITH, SV., Remarks on the physiology of the vibration of the vocal cords, 6 (1954), 166-178.

- SMITH, SV., Chest register versus head register in the membrane cushion model of the vocal cords, *Folia phoniat.*, 9 (1957), 32-36.
- SMITH, SV., Vertikale Komponenten bei der Funktion der Stimmlippen, *Phonetica* 11 (1964), 243-247.
- SMITH, SV., Laryngographische Untersuchungen der Stimmlippen, *Folia Phoniat.*, 22 (1970), 169-175.
- SONESSON, B., On the anatomy and vibratory pattern of the human vocal folds, *Acta Oto-Laryngol. Suppl.* 156 (1960).
- SONNINEN, A.A., The role of the external laryngeal muscles in length-adjustment of the vocal cords in singing. Proefschrift, *Acta Oto-Laryngol. Scand.*, Suppl. 130 (1956).
- SONNINEN, A.A., DAMSTÉ, P.H., JOL, J., FOKKENS J., On vocal strain, *Folia Phoniat.* 24 (1972), 321-336.
- SORON, H.I., High-speed photography in speech research *J. Sp. Hearing Res.*, 10 (1967), 768-776.
- STAMPFER, 1832, Zie Schönhärl (1960).
- STEVENS, D., *J. Acoust. Soc. Amer.*, 1936.
- STRIGLIONI, L., Contribution à l'étude de la physiologie du larynx en voix parlée, Apport de l'électroglottographie, Proefschrift, Marseille, 1963.
- TAN TJIE SIEN, Proeven over geluidsproductie in de menselijke larynx, Proefschrift, Groningen, 1960.
- TANABE, M., KITAJIMA, K., GOULD, W., LAMBIASE, A., Analysis of high-speed motion pictures of the vocal folds, *Folia Phoniat.*, 27 (1975), 77-87.
- TARNOCZY, T.H., The opening time and opening-quotient of the vocal cords during phonation, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 23 (1951), 42-44.
- TIMCKE, R., Die Synchron-Stroboskopie von menschlichen Stimmlippen bzw. ähnlichen Schallquellen und Messung der Oeffnungszeit, *Z. f. Laryng. Rhin. Otol.* 35 (1956), 331-335.
- TIMCKE, R., Nouvelles mesures de la durée de la phase d'ouverture de la glotte pendant la phonation chez l'homme et 'in vivo' effectuées avec un stroboscope synchronisé, *Rev. Laryng.*, Bordeaux, 78 (1957), 619-624.
- TIMCKE, R., LEDEN, von H., MOORE, P., Laryngeal vibrations: measurements of the glottic wave. Part I, The normal vibratory cycle, *Arch. Otolaryng.* 68 (1958), 1-19. Part II, Physiologic variations, *Arch. Otolaryng.* 69 (1959), 438-444.
- TITZE, I.R., The human vocal cords: A mathematical model, Part I, *Phonetica*, 28 (1973), 129-170. Part II, *Phonetica*, 29 (1974), 1-21.
- TITZE, I.R., On the mechanics of vocal-fold vibration, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 60 (1976), 1366-1380.
- TONNDORF, W., Die Mechanik bei der Stimmlippenschwingung und beim Schnarchen, *Z.f. HNO-Heilk.*, 12 (1925), 241-245.
- TRENDELENBURG, W., WULLSTEIN, H., Untersuchungen über die Stimmbandschwingungen, Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften, (1935), 399-426.
- TRENDELENEURG, F., TRENDLENBURG, W., Ueber die Ermittlung der Verschlusszeit der Stimmritze aus Klangkurven von Vokalen, Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften, (1937), 265-277.
- TSJAPLIN, V.L., DMITRIEV, L.B., 'Werken' van het Staatsmuziekpedagogisch Instituut 'Gnesinye', Uitg. IX, Moskou, 1970.
- VALLANCIEN, B., FAULHABER, J., Causes d'erreurs en glottographie, *J. Français ORL*, 15 (1966), 383-394.
- VALLANCIEN, B., FAULHABER, J., What to think of glottography, *Folia phoniat.*, 19 (1967), 39-44.
- VALLANCIEN, B., GAUTHERON, PASTERNAK, L., GUISEZ, D., PALEY, B., Comparaison des signaux microphoniques, diaphanographiques et glottographiques, avec application au laryngographe, *Folia phoniat.*, 23 (1971), 371-380.
- VALLANCIEN, B., Progrès en exploration fonctionnelle du larynx, *J. Français ORL*, 21 (1972), 649-661.

- VAN MICHEL, CL., Etude par la méthode électroglottographique, des comportements glottiques de type phonatoire en dehors de toute émission sonore, *Rev. Laryng.* 7-8 (1964), 469-475.
- VAN MICHEL, CL., RASKIN, L., Etude par voie électronique des mouvements phonatoires des cordes vocales; 1' électroglottomètre- ses principes- ses possibilités, *Rev. Electr. Diagn. Ther.*, 4 (1965), 291-297.
- VAN MICHEL, CL., Modifications de la voix humaine lors de l'inhalation d'hexafluorure de soufre, *Comptes rendus des séances de la Société de Biologie*, 159(1965), 253-256.
- VAN MICHEL, CL., Influence de la densité du support acoustique sur la voix humaine, *Comptes rendus des séances de la Société de Biologie*, 160 (1966a), 711-713.
- VAN MICHEL, CL., Mouvements glottiques phonatoires sans émission sonore, Etude électroglottographique, *Folia phoniat.*, 18 (1966b), 1-18.
- VAN MICHEL, CL., Morphologie de la courbe glottographique dans certains troubles fonctionnels du larynx, *Folia phoniat.* 19 (1967), 192-202.
- VENNARD, W., *Singing the mechanism and the technic*, Ed. Carl Fisher, New York, 1967.
- VOGELSANGER, G.TH., Experimentelle Prüfung der Stimmleistung beim Singen, *Folia phoniat.* 6 (1954), 193-227.
- WAAR, C.H., DAMSTÉ, P.H., Het fonetogram, *Logopedie en Foniatrie*, 40(1968), 198-201.
- WAAR, C.H., De vroege ontwikkeling van het binnenoorgebied, *Proefschrift*, Leiden, 1970.
- WINCKEL, FR., Phoniatric acoustics, In: 'Voice - speech - language', Ed. Luchsinger, R., Arnold, G.E., 1965.
- WIND, J., On the phylogeny and the ontogeny of the human larynx. A morphological and functional study, Wolters-Noordhoff Publishing, Groningen, 1970.
- WULLSTEIN, H., Bewegungsvorgang an den Stimmlippen während der Stimmgebung, *Archiv Ohren usw. Heilk.*, 142 (1936), 119-138.
- WUSTROW, F., Bau und Funktion des menschlichen Musculus vocalis, *Z. f. Anat. Entwickl. Gesch.*, 116 (1952), 506-522.
- WUSTROW, F., Kehlkopf, funktionelle Anatomie und Histologie, In: Berendes J., *HNO-Handbuch II* 2 (1965), 747-818.
- WYKE, B.D., Laryngeal myotatic reflexes and phonation, *Folia phoniat.* 26 (1974), 249-264.
- WYKE, B.D., Laryngeal neuromuscular control systems in singing, *Folia phoniat.* 26 (1974), 295-306.
- WYKE, B.D., KIRCHNER, J.A., Neurology of the larynx, In: *Scientific foundations of otolaryngology*, Red. Hinchcliffe, R., Harrison, D., Ed. Heinemann, London, 1976.
- ZALIOUK, A., IZKOVITCH, I., Some phonographic aspects in functional voice disorders, *Folia phoniat.*, 10 (1958), 34-40.
- ZENKER, W., Ueber Bindegewebsstrukturen des Kehlkopfes und seines Aufhängesystems und deren funktionelle Bedeutung für den Kehlkopfraum, *M.schr. Ohren Heilk.*, 92 Heft 5, (1958), 269-307; 92 Heft 6, (1958), 349-383.
- ZENKER, W., ZENKER A., Ueber die Regelung der Stimmlippenspannung durch von aussen eingreifende Mechanismen, *Folia phoniat.* 12 (1960), 1-36.

## Appendix

Sluitingsquotiënt =  $Sq$

De tijd die de stembanden nodig hebben om van een allereerst contact op één punt te komen tot een contact over de volle stembandlengte, gedeeld door de periodetijd.

Totale sluitingsquotiënt =  $Sq_t$

De tijd die de stembanden nodig hebben om van een allereerst contact op één punt te komen tot maximale sluiting (minimale impedantie) gedeeld door de periodetijd.

Gesloten quotiënt =  $Gesl.q$

De tijd waarin de stembanden voor de betreffende larynx geheel gesloten zijn, gedeeld door de periodetijd.

Openingsquotiënt =  $O_q$

De tijd die de stembanden nodig hebben om van het allereerste moment van open gaan op één punt te komen tot een volledig los zijn over de gehele lengte, gedeeld door de periodetijd.

Open quotiënt =  $Open\ q$

De tijd gedurende welke de stembanden over de gehele lengte géén contact maken, gedeeld door de periodetijd.

$$\text{Relatieve oppervlak} = \frac{\text{Opp. v.h. EGG}}{T(A_1 + A_2)} = O_r$$

Dit is een relatieve maat waarin alle stembandcontact op elk moment van de periode vertegenwoordigd is.

Relatieve sluitingsamplitude =  $Arel_s$

Deze wordt gedefinieerd als de hoogte van het elektroglottogram, die behoort bij de sluitingstijd, gedeeld door de totale hoogte.

Relatieve openingsamplitude =  $Arel_o$

Dit is de hoogte van het elektroglottogram, die behoort bij de opening, gedeeld door de totale hoogte.

## CURRICULUM VITAE

De schrijver van dit proefschrift werd op 11 mei 1939 geboren te Amsterdam.

Middelbare schoolopleiding:

Canisius College te Nijmegen afdeling  $\beta$  (1951-1957).

Universitaire opleiding:

studie in de geneeskunde aan de Katholieke Universiteit van Nijmegen tot en met het doctoraal examen (1964), vervolgens aan de Stichting Klinisch Hoger Onderwijs te Rotterdam. Artsexamen in 1967. Na het vervullen van de militaire dienstplicht bij de Koninklijke Luchtmacht begon hij in 1969 te Rotterdam zijn opleiding tot keel-, neus- en oorarts onder leiding van Prof. Dr. W.H. Struben, met een stage van een halfjaar in het voormalige ziekenhuis Zuidwal te 's-Gravenhage, als assistent van Dr. Em. Hammelburg.

Na inschrijving in het specialistenregister in 1973 was hij tijdelijk als KNO-arts werkzaam in het Diakonessenhuis te Utrecht. Nadien vanaf 1974 als wetenschappelijk medewerker, later hoofdmedewerker werkzaam in de Universiteitskliniek voor Keel-, Neus- en Oorheelkunde te Utrecht onder leiding van Prof. Dr. G.A. Sedee.

Vanaf januari 1977 als wetenschappelijk hoofdmedewerker met een deeltaak verbonden aan de afdeling logopedie van de KNO-kliniek van de Vrije Universiteit te Amsterdam onder leiding van Prof. Dr. G. de Wit en heden van Prof. Dr. G. Snow. De overige tijd is hij als KNO-arts werkzaam in het Majellaziekenhuis te Bussum in samenwerking met Dr. J. Wind.

